DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zwölfter Jahrgang | 11. Juli 1924 | Heft 28

Was ist Materie?

Von H. WEYL, Zürich.

Nach den überaus glänzenden Ergebnissen, welche die experimentierende Physik in enger Verbindung mit der Theorie in den letzten Dezennien gewonnen hat, kann an der atomistischen Konstitution der Naturkörper kein Zweifel mehr walten. Aber nicht vom Aufbau der Körper aus unteilbaren Elementarquanten, Elektronen und Atomkernen, soll hier in erster Linie die Rede sein, sondern unsere Frage zielt tiefer: was ist die „Materie", aus denen diese letzten Einheiten selber bestehen? Seit altersher hat die *Philosophie* darauf eine Antwort zu geben versucht. Der empirisch-naturwissenschaftlichen Forschung liegt bewußt oder unbewußt eine bestimmte Vorstellung über das Wesen der Materie a priori zugrunde, und das Tatsachenwissen muß schon gewaltig in die Breite und Tiefe gewachsen sein, ehe es die Kraft gewinnt, von sich aus modifizierend auf diese Vorstellungen einzuwirken. Die historische Situation bringt es also mit sich, daß wir die Formulierungen der Philosophen nicht außer acht lassen dürfen; ist es doch unmöglich, in der älteren Zeit Philosophie und Physik überhaupt voneinander zu trennen, während in späteren Epochen die Empiriker selten bemüht waren, die Grundanschauungen schärfer zu fassen, von denen aus sie ihre durch das Experiment zu beantwortenden Fragen an die Natur stellten. Doch soll versucht werden, von dem heute in Mathematik und Physik gewonnenen Standpunkte aus die alten philosophischen Lehren präziser auszudeuten. Im übrigen kommt es uns mehr auf die Sache als auf ihre Geschichte an; um so berechtigter erscheint mir da eine solche nicht objektive, sondern von dem historischen Augenpunkt der Gegenwart retrospektive Geschichtsbetrachtung.

I. Die Substanztheorie.

Was ist Materie? KANT antwortet darauf (Kritik der reinen Vernunft, 1. Auflage) mit der „ersten Analogie der Erfahrung", dem „Grundsatz der Beharrlichkeit": *„Alle Erscheinungen enthalten das Beharrliche (Substanz) als den Gegenstand selbst und das Wandelbare als dessen Bestimmung, das ist eine Art, wie der Gegenstand existiert."* Es ist offenbar die ontologische Kategorie der *Substanz*, das in der logischen Sphäre sich als die Gegenüberstellung von Subjekt und Prädikat widerspiegelnde Verhältnis von Substanz und Akzidenz, welches hier in die Erscheinungswirklichkeit hineingetragen wird. Aus den Erläuterungen geht klar hervor, daß KANT die physikalische Materie als die beharrende Substanz anspricht und nicht etwa wie bei ARISTOTELES und SPINOZA ein metaphysisches Prinzip jenseits der erfahrbaren Außenwelt in Frage steht, das über den Unterschied von geistig und körperlich-ausgedehnt erhaben ist. So heißt es: „Ein Philosoph wurde gefragt: ‚Wieviel wiegt der Rauch?' Er antwortete: ‚Ziehe von dem Gewichte des verbrannten Holzes das Gewicht der übrigbleibenden Asche ab, so hast du das Gewicht des Rauches.' Er setzte also als unwidersprechlich voraus: daß selbst im Feuer die Materie (Substanz) nicht vergehe, sondern nur die Form derselben eine Abänderung erleide." Die Substanz tritt hier gleich dem „steinernen Gast", vom Jenseits gesandt, körperlich-leibhaftig unter die heitere, im Schmuck der Qualitäten prangende Tafelrunde der Wirklichkeit. Der innere Grund für die Notwendigkeit der Substanz liegt für KANT darin, daß die selbst nicht wahrnehmbare bleibende Zeit, in der aller Wechsel der Erscheinungen gedacht werden soll, in den Gegenständen der Wahrnehmung repräsentiert sein muß durch etwas, das im Laufe der Zeit mit sich selber identisch bleibt: „den stetig fortbestehenden Körper", wie LOCKE[1]) sagt, „der in jedem Zeitpunkt des Daseins derselbe mit sich selbst ist." Daran hängt der Begriff der *Bewegung*. Denn dies ist in der Tat der wesentliche Zug des Substanzbegriffes: es soll einen objektiven Sinn haben, von derselben Substanzstelle zu verschiedenen Zeiten zu sprechen; oder anders ausgedrückt, *es soll prinzipiell möglich sein, dieselbe Substanzstelle im Laufe der Geschichte eines Körpersystems immer wiederzuerkennen.* Zur naturwissenschaftlichen Definition des Substanzbegriffes gehört also die Angabe von exakten Methoden, durch welche in praxi Substanzstellen im Fluß der Bewegung festgehalten werden können. Solange nur feste Körper in Frage kommen, die durch mechanische Mittel in Stücke getrennt oder aus Stücken zusammengeleimt werden, bietet das keine ernstliche Schwierigkeit; bei strömendem Wasser muß man schon zu indirekten Mitteln, einem hineingeworfenen Strohhalm etwa, seine Zuflucht nehmen; bei chemischen Umsetzungen endlich handelt es sich nur noch um eine durch Wahrnehmungen nicht zu kontrollierende Hypothese.

Um den zeitlichen Ablauf graphisch darstellen zu können, betrachten wir lediglich die Vorgänge in einer (horizontalen) Ebene E und zeichnen eine

[1]) Essay concerning human understanding, 2. Buch, Kap. 27, § 3.

zu E senkrechte Zeitachse t. Die Geschichte einer Substanzstelle findet ihren Ausdruck durch ihren „graphischen Fahrplan", eine in Richtung der t-Achse monoton ansteigende Weltlinie; auf ihr liegen die Raumzeitpunkte, welche von der Substanzstelle nacheinander passiert werden. Die Horizontalebene $t = \text{const.} = t_0$ repräsentiert den Zustand der Ebene E zur Zeit t_0. Auf jedem solchen Horizontalschnitt kann ich den Ort des Substanzpunktes zu der betreffenden Zeit ablesen. Ist E kontinuierlich und lückenlos mit Substanz bedeckt, so erscheint also das von unserem Bildraum wiedergegebene dreidimensionale Raum-Zeitkontinuum aufgelöst in eine stetige Mannigfaltigkeit von ∞^3 Weltlinien. In der Wirklichkeit erhöhen sich die Dimensionszahlen um 1: jedes Element der dreidimensional ausgedehnten Substanz beschreibt eine Weltlinie in dem vierdimensionalen Raum-Zeitkontinuum. Das ist die Ausdrucksweise, welche sich durch die Relativitätstheorie in ihrer von MINKOWSKI herrührenden „weltgeometrischen" Fassung eingebürgert hat; so heißt es bei MINKOWSKI[1]) in seinem Vortrag „Raum und Zeit": „Die ganze Welt erscheint aufgelöst in solche Weltlinien, und ich möchte sogleich vorwegnehmen, daß meiner Meinung nach die physikalischen Gesetze ihren vollkommensten Ausdruck als Wechselbeziehungen unter diesen Weltlinien finden dürften." Das ist in klaren Worten das Programm einer von der Substanzvorstellung beherrschten Physik. Wo immer in der Physik ein substantielles Medium hypothetisch als „Träger" gewisser Erscheinungen eingeführt wurde, z. B. der Äther der mechanischen Lichttheorie, war dies das Wesentliche; es wurde dadurch die Möglichkeit objektiver Unterscheidung zwischen *Ruhe* und *Bewegung* eines Körpers relativ zu jenem Medium gewonnen. Und nur in dieser substantiellen Fassung wurde, beiläufig gesagt, die Hypothese des Lichtäthers durch die spezielle Relativitätstheorie bzw. durch die ihr zugrundeliegenden Erfahrungstatsachen widerlegt.

KANT nimmt an der zitierten Stelle aber die Unveränderlichkeit der Materie nicht nur in dem eben erörterten Sinne an, daß die Substanzstellen etwas sind, was im Laufe des Weltprozesses „durchhält", sondern er setzt weiter voraus, daß ein beliebiges Stück der dreidimensionalen Substanz als ein *Quantum* sich messen lasse. Besonders deutlich zeigt sich das in der Formulierung, welche der Grundsatz der Beharrlichkeit in der 2. Auflage der Kritik erhält: „Bei allem Wechsel der Erscheinungen beharrt die Substanz, und das Quantum derselben wird in der Natur weder vermehrt noch vermindert." Endlich wird laut dem angeführten Beispiel das *Gewicht* zur Menge proportional gesetzt, ohne daß das Prinzip, nach welchem Materie gemessen werden soll, gekennzeichnet wäre. In dieser Form hat LAVOISIER bekanntlich den Grundsatz von der Unzerstörbarkeit des Stoffes in die Chemie eingeführt; und nach einer oben gemachten Bemerkung ist ja im Falle der chemischen Umsetzung in der Tat die Erhaltung der einzelnen Substanzstelle nicht mehr kontrollierbar, sondern lediglich die Erhaltung der Gesamtmasse (ihres Gewichts). Es ist darum wohl ganz im Sinne KANTS, wenn HOLLEMANN in seinem bekannten „Lehrbuch der anorganischen Chemie" (ich zitiere die 2. Auflage der deutschen Ausgabe 1903, welche ich als Student benutzte; die neueren kenne ich nicht mehr), nachdem er das Prinzip an einigen Beispielen der Gewichtsanalyse illustriert hat, hinzufügt: „Die Überzeugung von der Unmöglichkeit des Entstehens und Vergehens der Materie war bereits bei den griechischen Philosophen fest eingewurzelt; sie ist durch alle Zeiten die Basis philosophischen Denkens gewesen ... Die Erkenntnistheorie lehrt, daß die Unvergänglichkeit des Stoffes eine von unserem Denken gebildete Voraussetzung ist; nichts ist unrichtiger als zu meinen, das Prinzip sei aus experimentellen Versuchen hergeleitet worden." Mit dem Begriff des Substanzquantums steht KANT offenbar unter dem Einfluß der Galilei-Newtonschen Mechanik, welche die Masse freilich nicht als Maß für eine Menge Materie, sondern als einen dynamischen Koeffizienten verwendet. Aus anderen Stellen ist ersichtlich, daß für KANT die Dichte eine stetiger Abstufungen fähige intensive Größe ist — Intensität der Raumerfüllung durch das Widerspiel anziehender und abstoßender Kräfte.

In den älteren Formen der Substanztheorie wird konsequenter als Maß der Materie das *Volumen* des von ihr eingenommenen Raumes angesetzt; den Unterschied in der Dichtigkeit der verschiedenen Körper erklärt sie durch das von Körper zu Körper wechselnde Verhältnis zwischen erfülltem und leerem Raum. Denn es ist eine von Anfang an mit der Idee der Substanz verknüpfte Vorstellung, daß sie *eine* sei, keine inneren qualitativen Unterschiede zulasse; daß überhaupt alle Qualitäten nur subjektiven Charakter besitzen und allein aus der Form und Bewegung der Substanzquanten und ihrer Wirkung auf unsere Sinne zu erklären sind. So heißt es schon bei DEMOKRIT, der zuerst den Begriff des Stoffes als die Grundlage der Naturerkenntnis aufstellte: „Nur in der Meinung besteht das Süße, in der Meinung das Bittere, in der Meinung das Kalte, das Warme, die Farbe." Und bei GALILEI findet man Äußerungen[1]), die besagen: Weiß oder rot, bitter oder süß, tönend oder stumm, wohl- oder übelriechend sind Namen für Wirkungen auf die Sinnesorgane ... Die Verschiedenheit, welche ein Körper in seiner Erscheinung darbietet, beruht auf bloßer Umlagerung der Teile ohne irgendwelche Neuentstehung oder Vernichtung ... Die Materie ist unveränderlich und immer dieselbe, da sie eine ewige und notwendige Art des Seins vor-

[1]) Werke, Bd. 2, S. 432.

[1]) Im „Saggiatore", z. B. Op. II, S. 340.

stellt. In großartiger Abstraktion vom Sinnenscheine setzt DEMOKRIT als die einzige Unterscheidung, aus welcher alle Mannigfaltigkeit entspringt, den absoluten Gegensatz des „Leeren" und des „Vollen" — das *μὴ ὄν* des leeren Raumes gegenüber dem *παμπλῆρες ὄν* der Materie. Dieser Unterschied läßt sich nicht mehr qualitativ charakterisieren, er muß einfach als das letzte Erklärungsprinzip der Erscheinungen hingenommen werden. Hier noch fragen, was das Volle sei, und sich, weil keine Antwort erfolgt, etwa darüber beklagen, daß wir das Innere der Dinge gar nicht einsähen, ist mit KANT zu reden, eine bloße Grille; es ist eine absurde Forderung, daß in einer „intellektuellen Anschauung" gegeben werde, was doch als das nichtanschauliche Fundament der angeschauten Erscheinungswelt gesetzt wurde.

Offenbar muß die Materie atomistisch konstituiert, der Raum kann nicht lückenlos erfüllt sein, wenn die verschiedene Dichte der Körper auf die angegebene Weise erklärt werden soll. Das ist *ein* Motiv, warum der Substanzbegriff von jeher zur *Atomistik* geführt hat; andere Gründe sollen später im Zusammenhange mit dem Kontinuumproblem gestreift werden[1]). Ganz zwingend kommt man zum Atombegriff, wenn man sich die Frage stellt, wie die Wiedererkennung desselben Substanzpunktes zu verschiedenen Zeiten in einer homogenen qualitätslosen Substanz überhaupt möglich ist. Erfüllt die Materie den Raum kontinuierlich, so ist das in der Tat ebensogut unmöglich, wie es nach dem Grundgedanken der Relativitätstheorie unmöglich ist, im homogenen Medium des Raumes denselben Raumpunkt festzuhalten. Besteht die Materie aber aus einzelnen Atomen, und setzen wir weiter voraus, daß die Atome sich *stetig* bewegen und sich niemals gegenseitig durchdringen, so können wir ein Atom durch den Bewegungsprozeß der Materie hindurch verfolgen, selbst wenn die Atome alle untereinander gleichartig sind, insbesondere alle dieselbe Gestalt besitzen. Denn fassen wir in einem Augenblick t ein Atom A ins Auge, so gibt es in einem hinreichend wenig späteren Augenblick $t + \Delta t$ ein einziges Atom A', welches ein Raumgebiet g' einnimmt, das um weniger als ein beliebig vorgegebenes Maß abweicht von demjenigen Raumgebiet g, welches das Atom A zur Zeit t besetzt hielt: dieses A' zur Zeit $t + \Delta t$ ist *dasselbe* Atom wie A zur Zeit t. Es mag auf den ersten Blick so scheinen, als drehten wir uns in einem logischen Zirkel, da hier die Wiedererkennung des Atoms A zur Zeit $t + \Delta t$ darauf gegründet wird, daß wir das Raumgebiet g in die Zeit $t + \Delta t$ verpflanzen und mit dem vom Atom in diesem späteren Moment eingenommenen Raumstück g' vergleichen; es ist aber klar, daß es hier nicht erforderlich ist, Raumpunkte und Raumstücke während der Zeit Δt identisch festhalten zu können, sondern daß es nur auf den stetigen Zusammenhang der Raumzeitpunkte ankommt; dieser freilich ist unerläßliche Voraussetzung. Man übersieht das am besten im vierdimensionalen Raum-Zeit-Bild; das Weltgebiet, das ein Atom überstreicht, erscheint hier als substanzführende „Röhre" von eindimensional unendlicher Erstreckung. Das Verfahren bleibt brauchbar, wenn sich die Atome während ihrer stetigen Bewegung stetig deformieren; nur darf die Ausdehnung eines Atoms niemals unter jede Grenze herabsinken. Hingegen muß postuliert werden, daß auch in der Berührung zwei Atome nicht zu einem einzigen Kontinuum miteinander verschmelzen[1]); sonst wäre z. B. für zwei Atome von der Gestalt gleichgroßer Halbkugeln, die sich mit ihren ebenen Begrenzungen aneinander legen und nach einiger Zeit wieder trennen, die Identität nach der Trennung unmöglich festzustellen. Das einzelne Atom aber ist *unteilbar*; d. h. das Raumgebiet, welches es einnimmt, ist ein einziges zusammenhängendes Kontinuum. Zu beachten ist ferner, daß die Identität im Laufe der Zeit wohl für die einzelnen Atome gewährleistet ist, nicht aber für die einzelnen Stellen innerhalb eines Atoms, obschon es räumlich ausgedehnt ist. Insbesondere ist es für ein kugelförmiges Atom unsinnig zu fragen, ob es eine rein translatorische Bewegung ausführt, oder ob mit der Translation eine Drehung um seinen Mittelpunkt verbunden sei. — Unser Prinzip gründet die Unverwechselbarkeit der Atome bloß darauf, daß sie getrennte *Individuen* sind, nicht aber auf Unterschiede der Qualitäten. Für die Ausbildung des Stoffbegriffes ist gewiß auf der einen Seite die logisch-metaphysische Kategorie der Substanz (des Subjektes, von welchem die Aussagen über die Erscheinungswelt handeln) maßgebend gewesen, auf der anderen Seite die der Erfahrung sich aufdrängende Existenz zahlreicher in ihren Eigenschaften beständiger Körper, auf welche sich das Handeln des Menschen vor allem stützt. Aber hier scheint mir durchzublicken, daß der letzte Grund, vielleicht auch für den ontologischen Substanzbegriff selber, in der inneren Gewißheit des mit sich selbst identischen indi-

[1]) In des LUCRETIUS Lehrgedicht *de rerum natura* tritt ein Argument für die Atomistik auf, das an den in neueren kosmologischen Betrachtungen eine große Rolle spielenden „Verödungseinwand" EINSTEINS gegen den unendlichen Raum anklingt: Alles löst sich leichter auf, als es sich bildet; darum müßte ohne Atome die Materie längst zerfallen sein.

[1]) Es ist das ein gelegentlicher Einwand des ARISTOTELES, welcher fragt, warum zwei Atome in der Berührung nicht miteinander verschmelzen wie zwei Wassermassen, die zusammentreffen. Die heutige punktmengen-theoretische Analysis wird diesem Unterschied zwischen zwei sich berührenden Kontinuen und dem kleinsten, sie beide umfassenden Kontinuum kaum gerecht; es sind aber von BROUWER und dem Verf. die Grundlagen einer mit dem anschaulichen Wesen des Kontinuums in besserem Einklang stehenden Analysis entworfen worden, in welcher der alte Grundsatz zu seinem Rechte kommt, daß „sich nur trennen läßt, was schon getrennt ist" (GASSENDI).

viduellen Ich liegt, nach dessen Analogie die Welt gedeutet wird[1]).

In DEMOKRITS *παμπλήρες ὄν* liegt schon die *Undurchdringlichkeit* der Atome ausgesprochen, die Tatsache, daß die Raumgebiete, welche von zwei Atomen eingenommen werden, sich niemals überdecken. Darüber hinaus wird ihnen auch, wennschon ihre Individuation nach einer obigen Bemerkung die Deformierbarkeit nicht ausschlösse, im Namen der Unveränderlichkeit der Substanz eine unveränderliche Gestalt, *Starrheit*, zugeschrieben: das Raumgebiet, welches ein Atom einnimmt, soll im Laufe der Zeit beständig zu sich selbst kongruent bleiben (diese Voraussetzung schließt natürlich die Unteilbarkeit ein). Dadurch gewinnt die an sich rein ideelle geometrische Beziehung der Kongruenz von Raumstücken reale Bedeutung. In den Eigenschaften der Ausdehnung und Undurchdringlichkeit bewährt die Materie ihre Realität, darin, daß sie aus mit sich selbst identisch bleibenden starren Individuen besteht, ihre Substantialität. *Solidität*, unter welchem Namen Undurchdringlichkeit und Starrheit zusammengefaßt werden, ist namentlich von GASSENDI, dem Erneuerer der Atomistik innerhalb der abendländischen Kultur, und LOCKE scharf als das Grundwesen der Materie hingestellt worden; im Gegensatz zu DESCARTES, in dessen Korpusculartheorie die Elementarkörper sich gegenseitig deformieren, abschleifen und zerreiben. Dabei darf die Solidität nicht sinnlich als Härte oder dynamisch als eine auf gegenseitigen Kräften der Substanzstellen beruhende Festigkeit gegen Zerbrechen und als Widerstand umgedeutet werden. Sondern sie ist abstrakt-geometrisch zu fassen, wie es hier geschah; die elastische Festigkeit der sichtbaren Körper hat diese absolute Eigenschaft der Atome zur Voraussetzung. Das ist der Standpunkt, den HUYGHENS, der geometrisch-kinematisch und in Prinzipien denkende Mechaniker, in seinem Briefwechsel mit dem anschaulich-dynamisch denkenden Metaphysiker LEIBNIZ vertritt[2]). HUYGHENS spricht zwar selbst von einem Widerstand gegen das Brechen oder Zusammendrücken. Aber man darf die um des lebendigeren Ausdrucks willen gewählten Termini nicht mißverstehen; denn „man muß", sagt er, „diesen Widerstand als unendlich voraussetzen, weil es absurd erscheint, einen gewissen Grad desselben anzunehmen, etwa gleich dem des Diamanten oder des Eisens; denn dazu könnte keine Ursache in einer Materie liegen, von der man ja nichts als die Ausdehnung voraussetzt . . . Die Hypothese der unendlichen Festigkeit scheint mir daher sehr notwendig, und ich begreife nicht, warum Sie dieselbe so befremdend finden, als ob sie ein beständiges Wunder einführe".

[1]) Vgl. dazu LOCKE, a. a. O., das ganze 27. Kapitel des 2. Buches über Identität und Verschiedenheit.

[2]) LEIBNIZ, Mathematische Schriften, ed. Gerhardt II, S. 139. — Im gleichen Sinne: LOCKE, a. a. O., 2. Buch, Kap. 4, namentlich § 4.

Mit der Solidität endet für die Substanztheorie die Aufstellung der Grundeigenschaften der Materie. Es ist jetzt weiter von der *Gestalt und Lage der Atome* zu handeln und endlich von den *Gesetzen, nach denen sich die Materie bewegt*. Hinsichtlich des ersten Punktes ist die Substanztheorie vor ihrer Verschmelzung mit dynamischen Vorstellungen eigentlich niemals aus dem Stadium ungeprüfter Phantasien herausgetreten. Die ältere Atomistik hält sich da alle Möglichkeiten offen; denn aus der geometrischen Verschiedenheit von Gestalt und Lagerung sucht sie die bunte Mannigfaltigkeit der sinnlichen Erscheinungen zu erklären. Insbesondere sind hakenförmige Ansätze und dergleichen beliebt, mittels deren sich die Atome verklammern sollen, wenn sie den nur mit Gewalt zu lösenden Verband eines festen Körpers bilden. Erst später, wo sich der Blick vom Geometrischen weg auf die Bewegung der Atome und deren Gesetzmäßigkeit zu richten beginnt, kann der Akzent stärker auf die Verschiedenheit der *Bewegungszustände* fallen. Natürlich wird man a priori der *Kugelgestalt* ob ihrer allseitigen Symmetrie den Vorzug geben und jedenfalls bei einer exakten Untersuchung zunächst einmal feststellen müssen, wie weit man mit dieser Annahme in der Erklärung der Erscheinungen kommt. Die Symmetrie der Kugel spricht sich mathematisch darin aus, daß es eine umfassende Gruppe von kongruenten Abbildungen (Bewegungen) gibt, welche die Kugel in sich überführen, nämlich die ∞^3 Drehungen um den Mittelpunkt. Die ideale Lösung wäre eine solche Gestalt g des Atoms, daß gegenüber den g in sich selbst überführenden kongruenten Abbildungen alle Punkte des Atoms gleichberechtigt wären; d. h. es sollte möglich sein, durch derartige Abbildungen jeden Punkt von g in jeden anderen überzuführen. Dann stünde der Möglichkeit, ein Atom als Ganzes während seiner Bewegung zu verfolgen, die Unmöglichkeit gegenüber, dabei noch Teile des Atoms als mit sich selbst identisch bleibend festzuhalten. Ein endliches Raumstück von der geforderten Beschaffenheit existiert aber nicht; die Kugel nähert sich dem Ideal wenigstens, soweit es möglich ist. Jede Bewegung des kugelförmigen Atoms kann als eine bloße Translation aufgefaßt, sie kann durch die Bewegung ihres Mittelpunktes vollständig gekennzeichnet werden.

Die Lagerung der Atome hat man sich in der älteren Zeit immer als viel zu kompakt vorgestellt; selbst die Ätheratome liegen bei HUYGHENS so dicht, daß sie sich gegenseitig berühren. Der Ausdruck „Poren" für den zwischen ihnen leerbleibenden Raum ist bezeichnend. GASSENDI verwendet das Bild des Sand- oder Weizenhaufens. Er glaubte, daß beim Lösen des Steinsalzes in Wasser durch die Salzatome die Poren zwischen den Wasseratomen ausgefüllt werden, und war dann höchst überrascht, daß eine gesättigte Steinsalzlösung noch Alaun zu lösen imstande war. Da ARISTOTELES im Gegensatz zu den griechischen Atomistikern die Möglichkeit des leeren Raumes bestrit-

ten hatte und seine Ansicht in der Scholastik zum philosophischen Dogma geworden war, kann es nicht wundernehmen, daß die ersten abendländischen Denker, welche den Gedanken des Atoms wieder aufgreifen, ohne die Annahme eines Vakuums auszukommen bestrebt sind[1]). In GALILEIS Versuch wird der Begriff des Infinitesimalen auf die räumliche Ausdehnung angewandt: unendlich kleine Atome erfüllen den Raum „überall dicht", so daß kein Raumgebiet angegeben werden kann, welches von ihnen frei wäre; es besteht die Möglichkeit von Verdünnung und Verdichtung, ohne daß irgendwo ein Loch entsteht. GALILEI beruft sich zur Veranschaulichung auf die „rota Aristotelis": Wird ein Rad auf einer horizontalen Geraden abgerollt, so erscheint jeder der konzentrischen kleineren Kreise zu einer gleichlangen horizontalen Geraden h ausgestreckt; ersetzt man aber das Kreisrad durch ein reguläres Polygon von vielen Seiten, so bilden die Strecken auf h, in welche sukzessive die Seiten eines konzentrischen Polygons hineinfallen, eine unterbrochene Linie. In einer strengen Fassung dieses Gedankens müßte man wohl die unendlich kleinen Atome ersetzen durch eine Menge von lauter endlich ausgedehnten Atomen, in welcher aber solche vorkommen, deren Ausdehnung unterhalb einer beliebig vorgegebenen Grenze liegt. Man kann z. B. einen Würfel mit einer unendlichen, durch einen bestimmten Konstruktionsprozeß erzeugten Reihe von Kugeln $K_1, K_2, K_3 \ldots$ so erfüllen, daß die Kugeln sich nirgendwo überdecken und im Kubus kein noch so kleines kugelförmiges Gebiet k angegeben werden kann, in welches dieselben nicht eindringen. Es ist dem mengentheoretisch geschulten Mathematiker ein Leichtes, die Kugeln der Serie $K_1, K_2, K_3 \ldots$ zu einer der gleichen Bedingung genügenden Erfüllung des ganzen Raumes auseinanderzustreuen (unendliche Verdünnung). Angedeutet ist eine solche Fassung bei HUYGHENS. DESCARTES ringt mit der Vorstellung, daß die einzelnen Teilchen der Materie, die auch bei ihm keine leeren Räume zwischen sich lassen sollen, in der Bewegung sich teilen müssen ins Unendliche „oder wenigstens ins Unbestimmte (in indefinitum), und zwar in so viele Teile, daß man sich in Gedanken keinen so kleinen vorstellen kann, von welchem man nicht einsähe, daß er tatsächlich noch in viel kleinere geteilt ist". Er wird nicht recht fertig damit und beruft sich schließlich auf die Unbegreiflichkeit der Allmacht Gottes[2]). Ähnlich LEIBNIZ, für den es „Welten in Welten ins Unendliche" gibt. Diese Betrachtungen sind wichtig für die Mathematik als die Anfänge der Infinitesimalrechnung: hier müht sich der Begriff, den Übergang vom Diskreten zum Kontinuierlichen zu finden; physikalisch schlagen sie die Brücke von der Atomistik zu der im III. Teile zu besprechenden Fluidums- und Feldtheorie der Materie. Kein Wunder, daß wir der gleichen Lehre (nach dem Zeugnis des ARISTOTELES) auch schon bei ANAXAGORAS begegnen, der, soviel wir wissen, als erster das Infinitesimalprinzip ausgesprochen hat. Es ist sehr instruktiv, damit die Ausführungen von PERRIN im Vorwort seines bekannten Buches über die Atome[1]) zu vergleichen, wo er an der Küstenlinie der Bretagne oder an kolloidalen Flocken schildert, wie dasjenige, was bei *einem* Maßstab der Betrachtung als homogen erscheint, bei verfeinertem Maßstab sich immer wieder in ganz ungleichmäßig orientierte und beschaffene Teile auflöst; „wir haben durchaus keinen Anhalt dafür, daß wir beim weiteren Vordringen endlich auf Homogeneität oder wenigstens auf Materie stoßen würden, deren Eigenschaften regelmäßig von einem Punkte zum anderen variieren".

Eine mechanisch-atomistische Erklärung der Erscheinungen, durch welche alle Vorgänge auf Bewegung der Substanzteilchen zurückgeführt werden sollen, ist erst möglich, wenn die *Bewegungsgesetze* der Atome bekannt sind. Es muß erstens festgestellt werden, *wie sich ein Atom frei bewegt*, wenn es nicht durch andere Atome an dem Eindringen in die ihm benachbarten Raumteile gehindert ist; und es muß zweitens bestimmt werden, *wie die Atome aufeinander „wirken"*, d. h. wie sie ihre Bewegung modifizieren, wenn sie im Zustand der Berührung einander im Wege sind. Als freie Bewegung betrachtet DEMOKRIT den Fall „von oben nach unten"; seit GALILEI tritt hier natürlich die gleichförmige Translation zufolge des Trägheitsgesetzes an Stelle des Falles im Schwerefeld[2]). GASSENDI glaubt, daß zufolge eines inneren Antriebes die Atome im ungehemmten Zustand eine bestimmte große universelle Geschwindigkeit besitzen; die in der Natur beobachteten verschiedenen Geschwindigkeiten kommen ebenso durch Mischung von Ruhe und Bewegung in wechselndem Verhältnis zustande wie die verschiedenen Dichten durch Mischung von Leerem und Vollem. Bei jedem Stoß wird eine kürzere oder längere Ruhepause eingeschaltet, während welcher der Antrieb latent ist. Hier ist also nicht ein Austausch der kinetischen Energien möglich wie in der modernen Gastheorie, sondern nur ein Austausch der Orte, Umlagerung. — Was das zweite betrifft, die Wirkung der Atome aufeinander, so geschieht sie nur durch *„Stoß"*; und dieser wird nicht dynamisch aufgefaßt, sondern die Behauptung meint lediglich, daß ein Atom, solange es nicht an andere stößt, den Ge-

[1]) Die Atomistik war als die Philosophie des „gottlosen" EPIKUR im Mittelalter — ebenso schon bei den Kirchenvätern — sittlich-religiös im höchsten Maße anrüchig. Noch 1624 wurde sie in Paris, als sie in dem Kreis um GASSENDI schon lebhaft diskutiert wurde, durch Parlamentsbeschluß bei Todesstrafe verboten.

[2]) Principia philosophiae, Teil II, § 34.

[1]) Übersetzung von A. LOTTERMOSER, Leipzig 1914, S. IX.

[2]) Ich kann die Bemerkung nicht unterdrücken, daß seit Aufstellung der allgemeinen Relativitätstheorie eigentlich DEMOKRIT wieder recht bekommt.

setzen der freien Bewegung folgt, bei der Berührung aber die Bewegung unmittelbar nachher aus der Bewegung unmittelbar vorher gesetzlich bestimmt ist. Während den Atomen niemals die sinnlichen Qualitäten beigelegt wurden, welche wir an den Körpern unserer Außenwelt wahrnehmen, sind die Vorstellungen über die Wirkung der Atome aufeinander bei den älteren Autoren durchweg ziemlich naiv nach Analogie grobsinnlicher Erfahrungen gebildet und nicht in quantitativ präzise Gesetze gefaßt. Erst HUYGHENS gelingt die Aufstellung der Prinzipien: es sind die in der Tat für die ganze Physik fundamentalen ***Erhaltungssätze für Impuls und Energie***. In Verbindung mit der Annahme, daß beim Stoß ein Impulsaustausch nur in der zur gemeinsamen Berührungsebene der Atome senkrechten Richtung (Stoßrichtung) geschieht, determinieren sie die Bewegung eindeutig. Dies sind zugleich die Gesetze des elastischen Stoßes. Sie gelten nach der Meinung von HUYGHENS aber für die Atome nicht deshalb, weil die Atome elastische Billardkugeln sind, ausgestattet mit der dynamischen Eigenschaft der „vollkommenen Elastizität", sondern die Erhaltungssätze von Energie und Impuls sind universell gültige Prinzipien, aus denen sich u. a. für gewisse Körper zufolge ihrer atomistischen Konstitution jenes Verhalten ergibt, das wir als unelastischen oder elastischen Stoß mit allen möglichen Übergängen bezeichnen. Aus den Gesetzen folgt, daß beim Stoß, obschon die Stetigkeit der Ortsveränderung natürlich gewahrt bleibt, die Geschwindigkeit der Atome einen momentanen Sprung erleidet. Der Impuls ist gleich Masse mal Geschwindigkeit, die Energie das halbe Produkt aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit. Dabei ist der Impuls als ein *Vektor* aufzufassen; es war der Grundirrtum der Cartesischen Mechanik, daß sie für das Produkt aus Masse und dem ***absoluten Betrag*** der Geschwindigkeit das Erhaltungsgesetz postulierte.

Die Masse deutet HUYGHENS wohl noch als Substanzquantum. In Wahrheit aber besteht die einzige Methode, das Massenverhältnis zweier Körper zu finden, darin, daß man ihre Bewegung vor und nach der Stoßreaktion beobachtet und daraus unter Zugrundelegung des Gesetzes von der Erhaltung des Impulses jenes Verhältnis berechnet. Der Zusammenhang der so definierten ***trägen Masse*** mit dem Gewicht ist erst durch die allgemeine Relativitätstheorie klargestellt worden. Durch die Einführung der Masse geschieht ein Schritt von großer Tragweite. Nachdem die Materie aller sinnlichen Qualitäten entkleidet war, schien es zunächst, als könne man ihr nur noch geometrische Eigenschaften beilegen; ganz konsequent ist hierin DESCARTES. Aber nun zeigt sich, daß man aus der Bewegung und ihrer gesetzmäßigen Veränderung bei Reaktionen andere zahlenmäßige Charakteristika der Körper ablesen kann. Es öffnet sich damit, über Geometrie und Kinematik hinaus, die Sphäre der eigentlich mechanischen und physikalischen Begriffe. Dieser Schritt war schon von GALILEI vollzogen worden, der zuerst in der Bewegung eines Körpers nicht bloß die kinematische Ortsveränderung sah, sondern ihr eine dynamische Intensität, den Impuls oder ***impetus*** (Stoßwucht) zuschrieb und die Masse eines Körpers als das konstante Verhältnis zwischen Impuls und Geschwindigkeit bestimmte.

Der Gedankenkreis der Atomistik hatte, wie aus unserer Schilderung hervorgeht, philosophisch und physikalisch schon die sorgfältigste Ausbildung erfahren, ehe die ***Chemie*** eingriff und von DALTON atomistisch die chemische Grundtatsache erklärt wurde, daß sich die Elemente nur in festen Massenproportionen miteinander verbinden. Die Chemie fügte dem Atombegriff vor allem die Erkenntnis hinzu, daß aus der zweifach unendlichen Mannigfaltigkeit aller möglichen, nach Radius und Masse verschiedenen Atome in der Natur nur ganz bestimmte diskrete Fälle realisiert sind (entsprechend den chemischen Elementen). Die Atome eines Elementes müssen alle untereinander gleich sein nach Größe und Masse; die Existenz von Elementen mit konstanten Eigenschaften wäre sonst nicht verständlich. Einen tieferen Grund, warum gerade nur diese Atomradien und Atommassen vorkommen, kann die Substanztheorie nicht angeben. Wenn nicht alle Werte der Radien und Massen zulässig sind, so wird sich die Vernunft kaum anders als bei dem entgegengesetzten Extrem befriedigen: daß nur *ein* Element existiert. Daß die letzten Bausteine der Materie alle untereinander gleich groß und von gleicher Masse sind, dieser naheliegende Gedanke ist jedoch erst durchführbar, wenn dynamische Vorstellungen herangezogen werden; er setzt, wie in der modernen Atomtheorie, voraus, daß durch starke Kräfte mehrere solcher Bausteine — die aus historischen Gründen jetzt nicht Atome, sondern Elektronen heißen — zu einem schwer zerreißbaren Verband zusammentreten können, der nach außen wie eine Atomkugel reagiert. Über den Bau der Atomkerne sind wir bekanntlich auch heute noch nicht genügend orientiert; und die von ASTON entdeckte wunderbare Tatsache, daß die Atomgewichte der wahren Elemente, die nicht aus Gemischen von Isotopen bestehen, ganze Zahlen sind, ist noch nicht als zwingende Konsequenz in eine Theorie der Materie eingefügt. Es ist nur soviel klar, daß wir über die Unterschiede der chemischen Atome hinaus einer letzten Einheit entgegensteuern.

Durch HUYGHENS hatte die atomistische Substanztheorie diejenige Präzision erreicht, welche es ermöglichte, strenge Folgerungen zu ziehen. Lauter gleichgroße kugelförmige Atome, welche sich nach den von ihm aufgestellten Gesetzen bewegen, bilden, wie sich mit Hilfe der Statistik zeigte, einen Körper, der alle diejenigen Eigenschaften aufweist, die wir erfahrungsmäßig an einem *Gas* konstatieren; die Wärmeerscheinungen kommen dabei auf Rechnung der lebhaften Atombewegung. (Das Eingreifen der Wahrscheinlich-

keitsrechnung ist ein neues erkenntnistheoretisch wichtiges Moment in der Naturerklärung, doch sei hier darauf nicht näher eingegangen.) Aus den Beobachtungen konnten in Verbindung mit der Theorie, nachdem die Sache einmal so weit gediehen war, ziemlich sichere Werte entnommen werden für die Größe der Atommassen und Atomradien, desgleichen für die Anzahl der Atome in einem gegebenen Gasquantum und für die Atomgeschwindigkeiten. Es zeigte sich, daß für die verschiedenen Elemente die Atommasse keineswegs dem Volumen proportional ist. Die Vorstellung eines homogenen Substanzteiges, aus welchem der Schöpfer am Beginn aller Zeiten mit einer Serie von Backformen die kleinen Atomkuchen ausgestochen hat, um ihnen dann absolute Starrheit zu verleihen und sie mit den verschiedensten Anfangsimpulsen in den Raum hinauszuschicken, diese Vorstellung erweist sich als unhaltbar. *Der mechanische Begriff der Masse läßt sich, wie damit endgültig feststeht, nicht auf Geometrie reduzieren.*

Die kinetische Substanztheorie hat im ganzen nicht über die Erklärung des gasförmigen Zustandes hinausgeführt. Ein später Nachfahre von HUYGHENS, der für einen weiteren Kreis von Vorgängen auf analogem Wege, ohne Zuhilfenahme von „Kräften", zum Ziele kommen will, ist HEINR. HERTZ in seiner *Mechanik*. Man kann die kugelförmigen Atome, die etwa alle den gleichen Radius a besitzen mögen, durch ihre Mittelpunkte, die „Atompunkte", repräsentieren; die Bewegungsbeschränkung infolge der Undurchdringlichkeit der Atome drückt sich dann dadurch aus, daß die Entfernung irgend zweier Atompunkte stets $\geqq 2a$ bleibt. HERTZ ersetzte die Koordinaten der Atompunkte durch irgendwelche Größen, deren Werte den Zustand des betrachteten mechanischen Systems kennzeichnen, und jene Einschränkungen durch Bedingungsgleichungen (oder Ungleichungen), „Bindungen" zwischen den Systemkoordinaten von beliebiger mathematischer Form. Diese Bedingungsgleichungen zusammen mit einem universellen Bewegungsgesetz determinieren die Koordinaten als Funktionen der Zeit, sofern ihre Werte in einem Anfangsmoment gegeben sind. Es ist die Aufgabe, durch Annahme verborgener Massen und geeigneter einfacher Verbindungen zwischen ihnen den wirklichen Verlauf der Naturvorgänge in diesem Schema darzustellen. Offenbar wird hier der Substanzbegriff auf dem Wege mathematischer Verallgemeinerung zu einem abstrakten Schema formalisiert. Es wird wohl zutreffen, daß die endgültige systematische Form der Physik von ähnlicher Art sein muß, wobei nur vorausgesetzt bleibt, daß die verknüpfende Beziehung zwischen den Symbolen des mathematischen Schemas und der unmittelbar erlebten Wirklichkeit, wenn nicht explizite beschrieben, so doch innerlich irgendwie verstanden wird. Es ist aber sehr zweifelhaft, ob durch das Streichen der „metaphysischen" Anschauungen, welche den Aufbau der Physik geleitet hatten und zu denen der Substanzbegriff gehört, die theoretische Deutung nicht alles Zwingende verliert.

Die Hertzsche Mechanik ist nur Programm geblieben. Viel fruchtbarer ward das seit NEWTON sich vollziehende *Eindringen der Dynamik in die Substanztheorie*. Als Beispiel einer solchen gemischt substantiell-dynamischen Auffassung, zugleich als Beweis für die fundamentale Rolle, welche auch in der ganz andersartigen Begriffswelt der Dynamik die Substanzidee immer noch gespielt hat, will ich die Abrahamsche Theorie des starren Elektrons[1]) anführen. ABRAHAM trägt so wenig wie H. A. LORENTZ Bedenken, die Grundgesetze der Maxwellschen Theorie des elektromagnetischen Feldes auch auf die Volumelemente des Elektrons anzuwenden. Das Elektron ist eine starre Kugel, mit dessen Raumelementen die elektrische Ladung starr verbunden ist; sie ist entweder gleichförmig über das Innere oder gleichförmig über die Oberfläche verteilt. Erst auf Grund einer solchen Voraussetzung wird das elektromagnetische Feld in der Umgebung des Elektrons zu einem durch dessen Gesamtladung und Bewegungszustand eindeutig bestimmten. (Wenn die Formeln, welche sich da ergeben und welche verlangen, daß ein beschleunigtes Elektron stets elektromagnetische Wellen aussendet, sich in der Erfahrung nicht bestätigt haben — und nach den Erfolgen der Bohrschen Atomtheorie kann daran kaum ein Zweifel sein —, so braucht das, wie es lange geschehen ist, nicht den Maxwellschen Gleichungen zur Last gelegt werden, sondern es ist viel wahrscheinlicher, daß die Hypothese über die geometrisch-substantielle Natur des Elektrons die Diskrepanz verschuldet.) Von Kräften, welche die Volumelemente des Elektrons aufeinander ausüben, ist in der Abrahamschen Theorie aber nicht die Rede; das Elektron ist ein einfürallemal zur Starrheit eingefrorenes Stück Natur, innerhalb dessen keine Wechselwirkung der Teile mehr stattfindet. Insbesondere wird die Frage von POINCARÉ, was die dicht zusammengedrängten negativen Ladungen im Elektron daran hindert, den Coulombschen Fliehkräften folgend, zu explodieren, als sinnlos zurückgewiesen. Die mechanischen Gleichungen gelten nicht für die Volumelemente, sondern nur für das ganze Elektron: die zeitliche Änderung des Impulses und des Drehimpulses für ein Elektron ist gleich der Kraft bzw. dem Kraftmoment, das von dem elektromagnetischen Feld *in Summa* auf die geladenen Volumelemente des Elektrons ausgeübt wird. Es wird postuliert, daß man sinnvollerweise auch von einer Rotation des Elektrons sprechen kann. Im übrigen hat der Begriff des starren Körpers hier nicht mehr bloß einen geometrischen (wie bei den alten Atomistikern), sondern einen geometrisch-mechanischen Inhalt (den Kongruenzaxiomen der Geometrie und den mechanischen Bewegungsgesetzen des starren Körpers unterworfen).

[1]) Theorie der Elektrizität, Bd. II (Teubner 1905).

Auch in die spezielle Relativitätstheorie läßt sich die Vorstellung des Elektrons als einer starren Substanzkugel übertragen (so liegt sie der Lorentzschen Elektronentheorie zugrunde), streng freilich nur bei Beschränkung auf gleichförmige Bewegungen. Mit den beschleunigten Bewegungen tritt man nämlich bereits hinüber in das Gebiet der allgemeinen Relativitätstheorie, welche die Idee des Starren nicht aufrecht erhalten kann. Die Bemühungen um das relativistisch starre Elektron, die Fragestellungen, zu denen gewisse an ihm auftretende Unstimmigkeiten Anlaß gaben, zeigen, wie wenig wir heute schon berechtigt sind, den Glauben an die substantielle Materie eine längst überwundene Metaphysik zu schelten. Aber immer deutlicher ist doch in den letzten Jahrzehnten geworden, daß dieses Bild vom Elektron: das Stoffteilchen mit starr anhaftenden Ladungen, eigentlich eine groteske Naivität ist. *Ich bin fest davon überzeugt, daß die Substanz heute ihre Rolle in der Physik ausgespielt hat.* Der Anspruch dieser von ARISTOTELES als einer metaphysischen konzipierten Idee, das Wesen der realen Materie auszudrücken — der Anspruch der Materie, die fleischgewordene Substanz zu sein — ist unberechtigt. Die Physik muß sich ebenso der *ausgedehnten Substanz* entledigen, wie die Psychologie schon längst aufgehört hat, die Gegebenheiten des Bewußtseins als „Modifikationen" aufzufassen, die einer einheitlichen Seelensubstanz inhärieren.

(Fortsetzung folgt.)

Das experimentelle und theoretische Studium des Faltungsvorganges in der Natur.

Von J. KOENIGSBERGER, Freiburg i. Br.

Die Faltungen, die man im großen in den Gebirgszügen, im kleinen an Handstücken einzelner Gesteine beobachten kann, sind meist nur Gegenstand der beschreibenden Naturwissenschaft gewesen. Sie wurden von den Geologen unter der Rubrik „Geotektonik" behandelt. Gelegentlich hat man zur Vergleichung als ähnliche Vorgänge herangezogen; die gerunzelte Haut eines eingetrockneten Apfels, die Falten eines Tischtuches, die Sprünge einer Glasplatte, die Faltungen verschieden gefärbter Wachs- oder Tonschichten. Diese dienten als Vergleichsobjekte oder Modelle. Hierbei hat man sich tastend instinktiv den Bedingungen in der Natur zu nähern gesucht und auch tatsächlich diese immer besser erreicht. Die Literatur hierüber ist in dem Werk von W. PAULCKE, Das Experiment in der Geologie (Karlsruhe 1912) und in einer Schrift von F. D. ADAMS (Experiment in geology. Bull. geol. soc. America 1918) gegeben. Es liegt die Frage nahe, ob man auf irgendeinem Wege von vorneherein theoretisch entscheiden kann, welches der verschiedenen bisher angewandten Modelle am besten den Vorgängen in der Natur entspricht, und ob man überhaupt im *kleinen* durch das *Experiment* einigermaßen richtig die Natur nachzuahmen imstande ist. Inwieweit darin Fortschritte erzielt worden sind, ist in den folgenden Darlegungen *im ersten Teil* kurz behandelt. Als Gegenstück erhebt sich die Frage, ob irgendwelche *mathematisch-physikalische* Theorien, z. B. die jetzt schon weit ausgebaute klassische Elastizitätstheorie rechnerisch die Vorgänge in der Natur und im Modell zu verfolgen erlauben und mit welchem Grad von Genauigkeit das möglich sein dürfte. Das soll *im zweiten Teil* beantwortet werden.

1. Experimentelle Grundlagen: Faltungsmodelle.

Im großen lassen sich mit den Substanzen, die in der Natur in Betracht kommen, Versuche nicht ausführen. Man hat einige wenige Anhaltspunkte aus der Beobachtung elastischer Vorgänge in der Natur gewonnen, z. B. aus der Deutung der sog. Bergschläge in Tunnels (C. SCHMIDT 1907), aus Daten über geringfügige Veränderungen der Lage von Berggipfeln oder von Verschiebungen in Gebieten, die von Verwerfungen durchzogen sind, (O. NIEMCZYK, „Glückauf" 1923), aus den Sprüngen und Verwerfungen der Erdkruste bei Erdbeben. Sonst sieht man nur das Ergebnis von früheren Vorgängen, deren Verlauf unbekannt bleibt. Deshalb ist man auf das Arbeiten mit Modellen im kleinen im Laboratorium angewiesen.

Hier haben seit Mitte des vorigen Jahrhunderts SORBY, PFAFF, KICK, MICHEL-LEVY, DAUBRÉE, FOUQUÉ, LOHAST, CADELL, DOELTER, SPRING, MEUNIER, BAILEY, WILLIS, PAULCKE die Forschung in dieser Richtung wesentlich gefördert. Es sei auf die oben erwähnten vorzüglichen Schriften von W. PAULCKE und von C. F. ADAMS verwiesen.

PAULCKE selbst hat, die exakten, im folgenden abgeleiteten Bedingungen in mancher Hinsicht vorausahnend, mit einem großen Modell zahlreiche Versuche angestellt und sie in seiner oben erwähnten lesenswerten Schrift beschrieben. Seine Modellsubstanzen sind zwar noch zu starr; aber seine Ergebnisse sind doch für die Beurteilung der physikalischen Möglichkeit verschiedener geologischer Annahmen wichtig. Große Verdienste um die Schaffung der Grundlagen für die experimentelle tektonische Geologie hat F. D. ADAMS in Montreal. ADAMS stellte durch seine Untersuchungen seit 1900 vor allem die Größenordnung der Plastizität der Gesteine bei hohem Druck fest. Seine Zahlen geben Unterlagen für die folgenden Betrachtungen und damit für jedes naturgetreue Modell, das man sich konstruiert. Das Studium an Modellen in der Praxis ist ein wichtiges Hilfsmittel beim Bau von Schiffen und Flugzeugen geworden. Theoretisch hatte H. v. HELMHOLTZ als erster das Problem des hydrodynamischen und aerodynamischen Modells erschöpfend behandelt.

Auch in der Elastizitätstheorie fester Körper und den damit zusammenhängenden tektonischen Problemen der Gebirgsbildung ist die exakte Angabe der Beschaffenheit eines naturgetreuen Modells möglich, wie zuerst 1912 O. MORATH

und der Verfasser zeigten. Das Problem ist mathematisch einfach. Alle Eigenschaften oder physikalischen Konstanten einer Substanz, z. B. die von Granit, sind durch die drei Grundeinheiten, Länge, Masse und Zeit, gegeben. Wenn wir also eine bestimmte Annahme über das Längenverhältnis in der Natur zu dem im Modell machen, z. B. daß 100 km = 1 m, also das Verhältnis 100 000 : 1 setzen, desgleichen eine Festsetzung bezüglich Zeit und Masse treffen, so sind theoretisch alle Eigenschaften der Modellsubstanzen eindeutig definiert. Sie müssen alsdann in einem bestimmten Verhältnis zu denen der natürlichen Gesteine stehen. Praktisch erhebt sich aber die Frage, ob man eine Modellsubstanz mit solchen Eigenschaften herstellen kann.

Man bezeichne die Eigenschaften in der Natur mit dem Index 0; die Länge l_0, Dichte ϱ_0 usw., die im Modell mit l_1, ϱ_1 usw. Es sei das Längenverhältnis Modell : Natur $= l_1 : l_0 = \frac{1}{100\,000} = 1 \cdot 10^{-5}$. Das Größenverhältnis bei dem Modell von W. PAULCKE war wohl auch 10^{-4} bis 10^{-5}.

Hinsichtlich der Dichten ϱ der Modellsubstanzen hat man in der Praxis nicht viel Auswahl. Die verfügbaren billigeren Substanzen haben spezifische Gewichte ϱ zwischen 1 und 10, also von derselben Größenordnung wie die Gesteine (2,4 bis 3,4). Wir wählen die Dichte der Modellsubstanzen auch etwa $= 3$; also $\varrho_0 = \varrho_1$, oder $[m_1 l_1^{-3}] = [m_0 l_0^{-3}]$. Die Masse transformiert sich also im Verhältnis $1 : 1 \cdot 10^{-15}$.

Für die Zeit, mit der wir die Vorgänge am Modell sich abspielen lassen, besteht keine Möglichkeit willkürlicher Wahl mehr; denn eine der Größen, welche die Zeit enthält, nämlich die Schwerkraft g, ist beim Experiment dieselbe wie in der Natur. Man kann die Schwerkraft nicht beeinflussen auch nicht eine Massenkraft ähnlicher Größe ohne viel Apparatur (Elektromagnete) hinzufügen. Die Schwerkraftsbeschleunigung hat die Dimension $\frac{\text{Geschwindigkeit}}{\text{Zeit}} = l \cdot t^{-2}$. Da aber $\frac{l_1}{l_0} = 1 \cdot 10^{-5}$ angenommen wurde, so muß sich die Zeit für den Modellvorgang zu dem in der Natur etwa wie $1 : \sqrt{10^{+5}} = 1 : 300$ verhalten. — Theoretisch sollten nach Herstellung eines vollkommen richtigen Modells zur getreuen Wiedergabe des dynamischen Vorganges der Gebirgsfaltung außer den Eigenschaften der Gesteine noch aus der geologischen Geschichte die Zeitdauer, der Anfangszustand und die wirkenden Druckkräfte bekannt sein.

Es lassen sich plausible Annahmen bezüglich der Zeit machen. Selbst wenn man auf dem Standpunkt steht, daß einige tektonische Vorgänge bei der Gebirgsbildung sich relativ rasch in kurzen Perioden abgespielt haben, wird man doch annehmen dürfen, daß die Beschleunigung äußerst gering war und zu vernachlässigen ist. Sogar die Geschwindigkeiten werden recht klein gewesen sein. Deshalb ist es ziemlich gleichgültig, wie lange der Vorgang im Modell braucht. Es dürfen nur keine nennenswerten Geschwindigkeiten (mehr als 0,1 cm pro Sek.) zustande kommen. Die Rücksicht auf die innere Reibung in den Gesteinen verlangt noch etwas kleinere Werte der Geschwindigkeit, damit die Spannungen im Modell sich ebenso wie in der Natur bald ausgleichen und keinen verhältnismäßig großen Betrag erreichen.

Wenn der Zusammenschub z. B. im Tertiär, dreimal während 300 000 Jahren und innerhalb dieser drei Hauptperioden, die vielleicht je 5000 Jahre dauerten, zehnmal in 6 Monaten stattgefunden hätte, so entspräche das einer wahren Zeitdauer in der Natur von etwa 180 Monaten; denn die Pausen sind fast ohne Belang. Im Modell müßte dann der Vorgang $\frac{180}{300} = 0{,}6$ Monate dauern. Wir haben bei den Versuchen gefunden, daß je langsamer und stetiger das Modell sich veränderte, um so ähnlicher die Ergebnisse der Natur werden. Wir haben die Drucke dabei einige Stunden statt einiger Tage auf das Modell wirken lassen; letzteres wäre geeigneter gewesen.

Über den Anfangszustand vor der Bildung von Gebirgen ist man verschieden gut unterrichtet. In manchen Gegenden ist die geologische Geschichte vor der Hauptfaltung ziemlich genau, in anderen sehr wenig bekannt.

Bezüglich der wirkenden Kräfte bei einer Hauptfaltung steht es ähnlich. In einigen Fällen sind wohl Horizontaldrucke die Ursache gewesen; es sind aber auch andere Annahmen möglich. Gerade diese Fragen sollen die Modelle mitbeantworten und können es, wenn man sie naturgetreu den theoretischen Forderungen entsprechend wählt. Brüche, Verwerfungen usw. soll das Modell auch automatisch wiedergeben. Man muß dazu im Modell die Erdkruste bis zur Tiefe der Druckausgleichung darstellen. Die Druckausgleichfläche für die Schwerkraft nach PRATT und die Schmelzfläche (Grenzfläche fest—flüssig), aus der geothermischen Tiefenstufe berechnet, liegen übereinstimmend in etwa 120 km. Die Ausgleichfläche für Spannungen bei Gebirgsbildung dürfte wohl noch höher liegen. Die Breite der darzustellenden Zone darf nicht zu klein gewählt werden, sondern soll der Breite eines Kettengebirges entsprechen. Bei den meisten Gebirgsbildungen waren die Vorgänge auf kürzere Strecken parallel zu den Faltenachsen, also senkrecht zu den wirkenden Kräften, einander ziemlich gleich. Doch sind auch erhebliche Unterschiede verursachende Wirkungen der seitlichen Massen bekannt.

Will man eine Strecke von 100 km Querprofil durch eine Gebirgslänge von 1 m im Modell darstellen, so sollte die Tiefe des Modells mindestens 50 cm (besser 120 cm), die Länge mindestens 200 cm betragen. Da die Dichte der Modellsubstanz etwa 2—3 ist, so würde eine derartige Menge Modellsubstanz etwa 250 kg wiegen. Bei den Versuchen

von W. PAULCKE sind sogar schon 3000—3500 kg als Belastung verwandt worden. Wir haben aus Ersparnisgründen die Tiefe des Modells geringer, 30 cm statt 50 cm genommen, uns mit 30 km = 30 cm Querprofil und demgemäß 40 cm Anfangslänge (Endlänge nach der Verschiebung variabel) begnügt. — Eine weitere wesentliche Anforderung an das Modell ist folgende: *Die Schichten müssen durch ihre eigene Schwere brechen, sich wieder verkitten* und in sich verschiebbar sein. Verschiedene Schichten haben auch in dieser Hinsicht verschiedene Konstanten.

Die Modellbeziehungen sind dabei folgende: Die Zugfestigkeit für Granit ist 0,5 kg pro Quadratmillimeter. Das besagt, daß ein Granitstab von $2 \cdot 10^4$ cm Länge am oberen Ende aufgehängt, durch seine eigene Schwere abreißen würde. Da die Dichte der Modellsubstanz dieselbe ist wie die des Granits, muß die Modellsubstanz so beschaffen sein, daß ein Stab aus ihr am oberen Ende aufgehängt bei einer Länge von $2 \cdot 10^{+4}$ cm : $10^5 = 2 \cdot 10^{-1}$ cm = 2 mm durch sein Eigengewicht abreißt. Er darf also nur sehr wenig widerstandsfähig sein. Kalkstein entspricht Abreißen bei 1 mm Länge, Sandstein schon bei 0,7 mm.

Wesentlich komplizierter sind die Rechnungen zur Ermittlung der Biegungsfestigkeit, Druckfestigkeit usw. der Modellsubstanz. Wir geben hier nur die Resultate. Die Länge l_0, bei der eine Platte von der Höhe h_0 und beliebiger Breite infolge Eigengewichtes bei Auflegen an beiden Enden und bei nicht unterstützter Mitte durchbricht, ist $l_0 = 176 \sqrt{h_0}$ für Granit, im Modell $0{,}56 \sqrt{h_1}$. Mit Berücksichtigung der Schubspannung erhält man genauer

$$l_0 = \sqrt{3{,}1 \cdot 10^4 \cdot h_0 - 2{,}8\, h_0^2}$$

für Granit, ähnlich für Kalkstein und

$$l_0 = \sqrt{26 \cdot 10^4\, h_0 - 2{,}8 \cdot h_0^2}$$

für Sandstein. Im Modell hängen Länge l_1 und Höhe h_1 des Stabes in folgender Weise zusammen: für Granitsubstanzen und Kalkstein $l_1 = \sqrt{0{,}31\, h_1 - 2{,}8\, h_1^2}$ und für Sandstein $\sqrt{2{,}6\, h_1 - 2{,}8\, h_1^2}$. Also muß h_1 für Granit im Modell $\leq 0{,}1$ cm sein. Ein Stab von 5 mm Länge aus der Modellsubstanz geschnitten und an beiden Enden gestützt, soll also bei einer Höhe von 0,1 mm oder mit 8 mm Länge bei 0,3 mm Höhe durchbrechen. Die einseitige Druckfestigkeit ist für Granit etwa 8 kg pro Quadratmillimeter. Es würde also eine freistehende Granitsäule von 2900 m Höhe sich selbst an ihrer Unterlage zertrümmern. In der Modellsubstanz muß das schon bei 2,9 cm Höhe eintreten. Man ersieht hieraus, gleichgültig, ob die Zahl für Granit ganz genau bestimmt ist oder nicht, die *äußerst geringe Festigkeit, die eine Modellsubstanz besitzen muß.* Dieser Forderung ist bisher nicht genügt worden. Für Sandsteinmodellsubstanz wäre die entsprechende Höhe = 0,3 cm, für Kalkstein = 1,8 cm. Die Forderung bzw. der Schubspannung ist meist von selbst erfüllt; sie ist loc. cit. diskutiert. Viel weniger kommt es auf Elastizitätskoeffizienten an, weil in der Natur die Kräfte so groß werden, daß bei einseitiger Beanspruchung fast stets eine Zerreißung stattfindet. Die kleinen Spannungsdifferenzen gleichen sich außerdem schon deshalb rasch aus, weil alle Gesteine von Rissen usw. durchzogen sind. Die Bedingung für die Kompreßsibilität ist, wie sich leicht zeigen läßt, stets von selbst genügend erfüllt. In der Natur sind aber noch zwei andere Größen von Bedeutung, die für den Ingenieur, der die Gesteine nur auf ihre Haltbarkeit prüft, ohne Belang sind, für die man daher nur spärliche Daten besitzt; das sind äußere und innere Reibung. Immerhin läßt sich die Größenordnung dieser Eigenschaften angeben.

Die äußere Reibung tritt ein, wenn zwei Gesteinsschichten aufeinander vorbeigleiten, also bei allen Horizontalbewegungen: Decken, Gleitbrettern usw. Sie ist angenähert gemessen worden und beträgt etwa für

	bei Ruhe	bei Bewegung
Muschelkalk	0,74	0,69
Rogenstein auf Rogenstein	0,75	0,67

0,75 ist der Bruchteil der Last, der zur Überwindung der Reibung gebraucht wird. Wenn also 1 kg Kalk auf einer Kalkfläche verschoben werden soll, braucht man eine horizontale Kraft so groß, wie sie vertikal zum Heben von 0,75 kg notwendig wäre. Dieser Wert stellt eine maximale Grenze dar. Wenn zwei verschiedene Substanzen aufeinander gleiten, so ist nach einem bekannten technischen Erfahrungssatz der Wert kleiner. In allen glimmerhaltigen Gesteinen bildet sich sehr rasch eine Zone mit Paralleltextur, wie man sie in den Alpen, in Norwegen und anderwärts an der Basis von Decken oft beobachtet hat. Häufig tritt auch die sog. Mylonitisierung, eine innere mit Zertrümmerung des Gesteins verbundene Fließgleitbewegung in der Nähe (aber auch bis 500 m entfernt) von der Grenzfläche ein. Sie setzt die äußere Reibung erheblich herunter und verwandelt sie in innere Reibung. Vielfach sind auch wenig mächtige weiche Schichten vorhanden, längs deren dann die Bewegung vor sich geht und die wie ein Schmiermittel wirken. Die äußere Reibung muß im Modell dieselbe Größe behalten wie in der Natur, da sie eine Zahl ist. Diese Forderung ist, nebenbei bemerkt, leicht zu erfüllen. Schwerer ist es Substanzen ausfindig zu machen, die den Zwischenmitteln bei den Gleitbrettern nach der Definition von A. SPITZ, z. B. den Raibler Schichten zwischen Hauptdolomit und Wettersteinkalk, den Kössener Schichten, Liasschiefer usw. entsprechen.

Komplizierter sind die Vorgänge bei der inneren Reibung von Gesteinen. Sehr häufig werden in der Natur Gesteine in sich selbst verschoben; sie werden zertrümmert und gleiten ineinander. Hierbei sind zwei Fälle zu unterscheiden. Das Gestein zeigt bei dem betreffenden Druck eine innere Plastizität, wie eine solche in der Natur stets für Steinsalz, öfters für Dolomit, seltener für Kalkstein und nie für Silicatgesteine beobachtet wurde. Marmor erfordert nach den Versuchen von F. RINNE und F. D. ADAM zu Beginn wahrer innerer Plastizität einen allseitigen Druck von etwa 1000 kg auf den Quadratzentimeter bei gewöhnlicher Temperatur, während bei 400° schon 500 kg genügen. Es vollzieht sich dabei in den kleinen Kalkspatkristallen eine Verschiebung längs Gleitflächen, sowie zu dem allseitigen Druck ein einseitig wirkender, umformender hinzutritt. Bei der alpinen Faltung trat mancherorts eine Erhitzung bis auf etwa 300—500° ein, worauf die Mineralneubildungen der alpinen Klüfte hinweisen, oft auch erheblich mehr, bisweilen weniger. Diese konnte wahre plastische Deformation schon bei einer Überlastung von 2500 m im Kalkstein bewirken. Die dem Marmor oder Kalkstein entsprechende Modellsubstanz muß sich also unter ihrem Eigengewicht in etwa 2—3 cm Tiefe plastisch deformieren. (Für Kalkstein ist nach den Versuchen von F. D. ADAMS ein größerer allseitiger Druck als für Marmor notwendig.) Silicatgesteine sind nicht in der Weise wie Steinsalz oder Kalkgesteine plastisch, doch tritt

in ihnen ein Gleiten auf längs den Bestandteilen, die leicht deformierbar und zerreißbar sind, wie z. B. Glimmer. Bisweilen findet auch ein Zerbrechen der Körner (z. B. Quarz) statt, begleitet von kaum bemerkbaren Verschiebungen, manchmal werden sie völlig mylonitisiert. Im Endeffekt für die geologische Tektonik im großen bewirken die verschiedenen Arten der Zertrümmerung dasselbe wie das Fließen, das nichts anders ist als die Gitterplastizität der Krystalle eines Gesteines. — Deshalb kann man sich bei den Modellen begnügen, Mischungen zu nehmen, die sich plastisch verhalten, was durch wechselnde Gemenge von Eisenpulver, Maschinenöl, festem Paraffin und Ramsayfett erzielt wird. Zum Kenntlichmachen der einzelnen Schichten dient Färbung mit Eisenoxyd und Chromoxyd. Näheres ist in der Schrift von O. MORATH 1913 zu finden [1]).

Mit einem solchen naturgetreuen Modell gelang es, Faltungen und Überschiebungen der Natur nachzuahmen, wenn durch Horizontalkräfte die

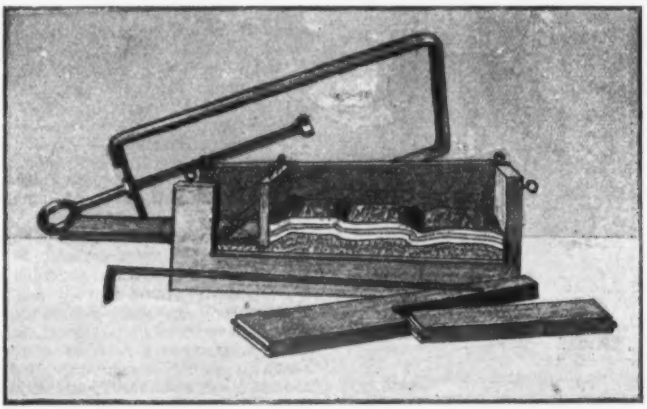

Fig. 1. Faltungsmodellkasten. Etwa $^1/_{15}$ nat. Größe.

Schichten der Modellsubstanzen zusammengeschoben wurden. Brüche und Verwerfungen kamen nur zustande, wenn die Seitenwände, welche geneigt waren, auseinander geschoben wurden und die Schichten absinken konnten. Die Tiefe des Modells sollte bis zur Druckausgleichfläche, der Fläche der Isostasien nach PRATT reichen, war aber wie erwähnt der Ersparnis halber etwas verkürzt. Unterhalb der Ausgleichsfläche lag, durch dünnste Leinwand getrennt, eine fast völlig flüssige Masse, das flüssige Magna, unter der festen Erdrinde. Die beistehende Fig. 1 zeigt das mit bescheidenen Mitteln ausgeführte Modell. Vorne konnte jeweils die Seitenwand herausgenommen werden, um den Vorgang nacheinander zu verfolgen. Am besten wäre statt dessen eine dicke Glasscheibe der Abschluß. Auf die Ergebnisse, die verschiedenen Faltenbilder, auf die liegenden Falten, die Überschiebungen usw. kann hier nicht im einzelnen eingegangen werden. Beachtenswert sind folgende allgemeine Regeln:

1. Die am stärksten bewegte Stelle wird am meisten gefaltet. Also nicht die den höchsten Spannungen unterworfenen Teile der Erdkruste, sondern die Zonen, wo die Spannungen Bewegungen auslösen und dadurch verschwinden, sind gefaltet.

2. Die Falten werden in der Bewegungsrichtung überkippt. Man beobachtet liegende Faltungen. Eine als größere liegende *Falte* hingleitende Decke ist aber nicht zu beobachten. Hierzu Fig. 2, die an die Tektonik des Schweizerischen Faltenjura erinnert und das Werden der Faltung im Modellkasten zeigt.

3. Die bei den Modellen sehr häufig auftretenden Überschiebungen zeigen Faltung und Stauchung in der Überschiebungsdecke, namentlich am Ende der Decke. Aufgerichtete Falten werden überkippt, flach gelegt und ausgewalzt. Zerreißung und Verschiebung der Faltenschenkel ist sehr häufig (s. Fig. 3). Beachtenswert ist auch die scheinbare Rückfaltung im Untergrund (Nr. 5 von Fig. 3), die in Wirklichkeit nur eine abgerissene Falte ist, wie die Einzelbeobachtung der nacheinanderfolgenden Auffaltung zeigt.

4. Die Überschiebung beginnt hauptsächlich da, wo ein größerer Widerstand, z. B. durch eine etwas starrere Masse, sich bietet (s. Fig. 4). *A* sollte einem unterirdischen Granitmassiv entsprechen, das schließlich auch zerrissen wird.

5. Die Unterlagen der Decken werden auch ein wenig gefaltet. Unsere Versuche entsprachen nur einmaliger tektonischer Bewegung. In der Natur hat man es häufig mit Wiederholung der Bewegung zu tun. Dieser Fall muß erst studiert werden. Der Mangel an Mitteln hat leider zunächst die Fortsetzung der Versuche unmöglich gemacht.

[1]) Selbstverständlich kann das naturgetreue Modell auch anderen Kräften unterworfen werden, z. B. Unterströmungen nach O. AMPFERER, Spannungsauftrieb nach C. G. S. SANDBERG usw.

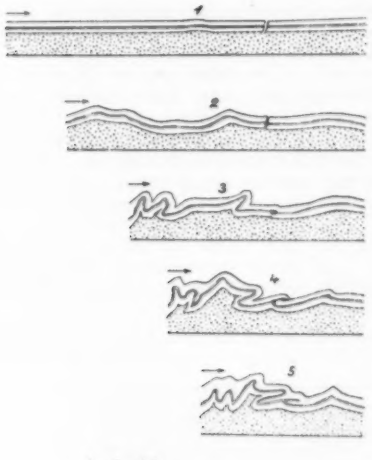

Fig. 2.

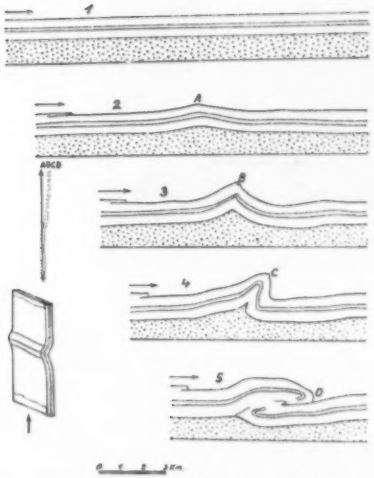

Fig 3. (Die seitliche kleine Figur ist eine Ansicht von oben her von 3).

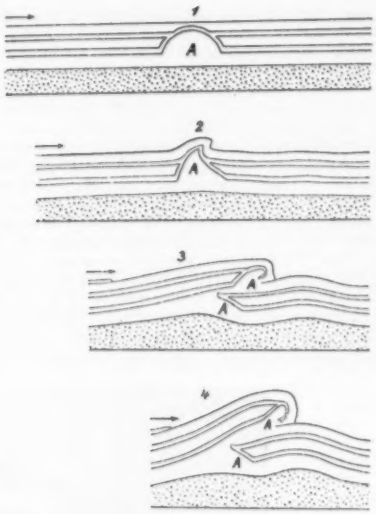

Fig. 4.
Fig. 2, 3, 4 zeigen Faltungsformen, Profillängsschnitte am Modell.

2. *Die theoretischen Grundlagen für das Studium des Faltungsvorganges.*

HEINRICH HERTZ, der Entdecker der elektrischen Wellen, war wohl der erste, der auf Grund der Elastizitätstheorie ein Problem studierte, das zur Gesteinsfaltung in Beziehung steht. Er untersuchte (1884) den Fall einer auf Flüssigkeit schwimmenden, ausgedehnten festen Platte, die in der Mitte durch ein Gewicht belastet ist. Hierbei bilden sich nach dem Rand hin an Höhe abnehmende Falten, die in konzentrischen Kreisen die belastete Mitte umgeben. Den Bedingungen in der Natur näher kommt das schwierige Problem, für das der bekannte mathematische Physiker M. VON SMOLUCHOWSKI (1909) unter speziellen Voraussetzungen und Vereinfachungen eine Lösung gefunden hat: Eine rechteckige Platte von geringer Dicke, die nach der einen Plattenrichtung sehr ausgedehnt ist und auf einer Flüssigkeit schwimmt, wird durch Druckkräfte in der Plattenebene senkrecht zur größten Ausdehnung in eine oder mehrere Falten gelegt, falls der Seitendruck einen bestimmten Grenzwert überschreitet. Die Anwendung seiner Rechnungen und der Elastizitätstheorie überhaupt auf die Naturvorgänge bietet zunächst deshalb Schwierigkeiten, weil der Faltungsvorgang bei Gesteinen, Eis usw. in der Natur *kein rein elastischer* ist. Falten und überhaupt Deformationen bleiben zurück, ohne daß im kleinen (z. B. Fältelung im Gneis) oder im großen (Gebirgsfalten) erhebliche Bruchteile der ursprünglichen Spannungen noch vorhanden sind. Plastizität[1]) und elastische Nachwirkung[1]) machen sich sehr stark geltend. *Damit wird nach der Ansicht von* SMOLUCHOWSKI *unsicher, ob die Elastizitätstheorie überhaupt angewandt werden darf.*

Wir hatten uns daher zunächst die Aufgabe gestellt, die Frage zu klären, ob die zahlreichen Lösungen von Problemen der klassischen Elastizitätstheorie auf die geologische Tektonik und die Faltung der Gesteine übertragen werden können. Es wurde theoretisch und experimentell unter-

[1]) *Elastische Nachwirkung* nennt man die Erscheinung, daß die endgültige Form sich erst in einer gewissen Zeit nach Konstantwerden der Spannungen einstellt. *Plastizität* oder elastischen Rückstand besitzt ein Körper, wenn er sich zwischen der Grenze der vollkommenen Elastizität und der Festigkeitsgrenze befindet; er kann dann durch noch so geringe Spannungen, wenn sie genügend lange auf ihn einwirken, beliebig stark deformiert werden, und die Deformationen gehen nach Aufhören der Spannung nicht zurück.

sucht, ob die Übertragung der klassischen Elastizitätstheorie auf *plastische* Substanzen erlaubt ist. Im folgenden wird nur eine kurze Übersicht über die theoretischen und experimentellen Beweise gegeben.

Es läßt sich theoretisch folgendes beweisen: Auf Substanzen, die sich plastisch verbiegen, kann man für statische Zustände viele Näherungslösungen der Elastizitätstheorie bezüglich der Deformationen anwenden, solange die dort gemachten Voraussetzungen bezüglich der Dimensionsverhältnisse, und wenigstens für kleine Deformationen, das Gesetz von HOOKE gültig ist. Gleich- und entgegengesetzt gerichtete Spannungen und Deformationen sind alsdann superponierbar.

Ein von G. KIRCHHOFF für Stäbe abgeleiteter Satz (1876), der von E. HUNGERER (1921) auf Veranlassung des Verfassers erweitert wurde, beruht darauf, daß man durch Anbringen von endlichen Spannungen mit umgekehrtem Zeichen den Körper aus dem deformierten Zustand in den nicht deformierten überführen kann. Man kann diesen Satz im Unendlichkleinen erst recht anwenden, indem eine endliche Deformation durch eine Summe von unendlich kleinen Deformationen, eine endliche Spannung durch eine entsprechende Summe unendlich kleiner Spannungen ersetzt wird.

Daraus läßt sich folgendes ableiten: Man kann denselben Endzustand einer Deformation auf zwei Wegen erreichen: Erstens, wenn man wie in der Natur auf einen bereits durch Spannungen deformierten Körper weitere Spannungen derselben Art wirken läßt. Zweitens, wenn man von vorneherein auf den undeformierten Körper die Summe der beiden unter 1. erwähnten Spannungen derselben Art wirken läßt. Letzteres ist der Fall, der gerechnet wird.

Es kann nun auch im ersten Falle die erste Deformation dauernd spannungslos werden, also eine neue, spannungsfreie Ausgangsform des Körpers sein, so bei den plastischen Substanzen. Voraussetzung ist, daß das Gesetz von HOOKE für diese kleinen Deformationen gültig bleibt, daß also die elastischen Konstanten nicht von den Spannungen abhängen. Doch beeinflußt, wie die Versuche zeigen, eine geringe Abhängigkeit die Ergebnisse nicht wesentlich.

Die plastische Deformation von festen Körpern kann man sich entstanden denken aus unendlich kleinen elastischen Verschiebungen, die bis zur Festigkeitsgrenze gehen, wonach der Körper dann jedesmal wieder spannungslos wird und die neue Form beibehält. Das ist gerade der oben theoretisch behandelte Fall, und diese Auffassung gilt streng in dem für die geologische Tektonik wichtigen Fall der Silicatgesteine. Die im folgenden erwähnten Experimente von HUNGERER zeigten, daß aber auch für Substanzen, die als molekular oder krystallgitterplastisch anzusehen sind, wie weiches Eisen, Kupfer, Wachs-Kolophonium, Butter, die für Gesteine gezogenen Folgerungen auch noch zutreffen. Woran das liegt, sei hier nicht erörtert.

Um experimentell die theoretische Folgerung zu prüfen, kann man irgendeine Aufgabe der Elastizitätstheorie herausgreifen. Man berechnet die Größe der Deformationen und ihr Verhältnis zueinander und prüft dann durch Messung an entsprechend deformierten Substanzen, und zwar solchen, die vollkommen elastisch sind, wie Kautschuk, und an solchen, die plastisch sind, wie Wachs-Kolophonium usw., ob beide in gleicher Weise in Übereinstimmung stehen mit den rechnerischen, quantitativen Folgerungen, die man aus der klassischen Elastizitätstheorie gezogen hat. Dabei wurden gleich Aufgaben gewählt, die in der geologischen Tektonik von Bedeutung sind, falls die oben erwähnte Übertragung überhaupt zulässig ist. Die Aufgaben sollten aber andererseits noch verhältnismäßig einfach sein, um die Prüfung experimentell möglichst sicher gestalten zu können.

Wir haben die einfache Aufgabe der Biegung eines Prismas durch solche Kräfte herausgegriffen, die einer theoretischen Behandlung leicht zugänglich sind und doch in der Natur vorkommen. Bei der *Faltung* in der Natur waren — wie die Tatsache der Überschiebung in den Alpen zeigt — sehr starke Kräfte, in der Hauptsache jedenfalls tangential zur Erdoberfläche, also horizontal, tätig. Daß außerdem, etwa durch den Druck von Intrusivmassen, eine schwächere Vertikalkraft von unten nach oben und in entgegengesetzter Richtung allenthalben die Schwerkraft wirkte und sich bei Zugspannungen in Brüchen und Verwerfungen dynamisch äußerte, kann zunächst vernachlässigt werden. Zur Überführung des Problems eines horizontalen Druckes auf die zwei Endquerflächen eines Prismas (Platte oder Balken) in das von vielen Autoren eingehend behandelte Problem einer an Balken oder Platten an den Enden vertikal angreifenden Last oder linear veränderlich tangentialer Kräfte ist es notwendig, eine ganz schwache anfängliche Aufwölbung, also eine ursprüngliche Biegung, anzunehmen. Man kann sich diese ersten schwachen Faltenansätze auch in der Art zustande kommen denken, wie sie sowohl H. HERTZ wie M. v. SMOLUCHOWSKI abgeleitet haben, wobei eine ebene Platte auf einer Flüssigkeit schwimmt. Zunächst sei der Fall *einer* Aufwölbung, *eines* Sattels, behandelt. Ist einmal die erste, wenn auch nur äußerst geringfügige Aufwölbung vorhanden, so kann man die horizontal wirkenden Kräfte oder Drucke nach zwei Richtungen zerlegen: erstens parallel der Schicht, und zweitens senkrecht dazu. Die erstere Kraft an den Enden der gebogenen Platte wirkt in Richtung der gekrümmten Mittellinie und staucht die Platte. Die zweite Kraftkomponente steht immer senkrecht zur ersteren, entspricht also einer Last oder einer in Richtung der Mittellinie wirkenden, senkrecht zu ihr nach d (Dicke) (s. Fig. 5) linear veränderlichen Spannung; sie bewirkt eine weitere Biegung.

Je nach Dicke und Breite ergibt sich ein Unterschied in der Art der Aufbiegung. Man kann diesen leicht veranschaulichen, wenn man einen Radier-

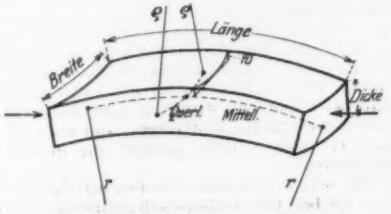

Fig. 5. Schematische Darstellung der Krümmung einer Platte (oben und unten Sattelfläche).

gummi und ein Stück Papier stark biegt. An ersterem, der eine mit seiner Breite b und dem Krümmungsradius r vergleichbare Dicke d besitzt, tritt eine starke antiklastische Krümmung (kleines ϱ, s. Fig. 5) auf; bei Papier ist die zweite Krümmung kaum beobachtbar.

Diese Erscheinung hat H. LAMB (1890) genauer studiert. Man kann noch zeigen, daß der Wert $\frac{r}{\varrho}$ von der Größe $A' = r : \frac{b^2}{2d}$ abhängt. Für große A' nähert sich $\frac{-r}{\varrho}$ dem Wert der Konstanten σ von POISSON, dem Verhältnis von Querkontraktion zu Längsdilatation. Für größere $\frac{d}{r}$ ist $\frac{-r}{\varrho}\left(1+\frac{\sigma d}{r}\right)$. Für kleine A' wird $\frac{r}{\varrho} = \sigma$. Für dazwischenliegende Werte wird die Erhöhung am Rande w (vgl. Fig. 5 und ϱ) durch Formeln mit hyperbolischen Funktionen gegeben, die mit Hilfe von Tafeln auszuwerten sind.

Bei allen Substanzen ist für große A' der Grenzwert von $-r/\varrho = \sigma$ bzw. $\sigma\left(1+\frac{\sigma d}{r}\right)$. In Übereinstimmung mit der Theorie wird dabei, je kleiner σ, für um so kleinere A' der Grenzwert auf $+10\%$ erreicht.

Die experimentelle Prüfung von E. HUNGERER erstreckte sich auf diese verschiedenen Fälle. Die ganz zurückgehende Deformation völlig elastischer Kautschukplatten wurde mit der bleibenden von ganz plastischen Substanzen, wie Wachskolophonium und Paraffin, verglichen. Außerdem wurden halbelastische Metalle, Messing, weiches Eisen und Kupfer stark dauernd gekrümmt und dann untersucht. Für harte Substanzen, die inhomogen zusammengesetzt sind, wurde ein geeignetes Beispiel in der Natur gefunden und zur Messung herangezogen, ein gefaltetes Gneisstück aus den Tiroler Alpen (s. Fig. 6).

Die umfangreichen Messungsreihen und Tabellen, auf deren Wiedergabe wir hier verzichten müssen, zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und beobachteten Daten, sowohl bei Kautschuk[1]), bei dem die Voraussetzungen der Elastizitätstheorie streng gelten, wie für das bei der Versuchstemperatur völlig plastische Wachs-Kolophonium.

Damit ist die Richtigkeit der theoretisch für alle Fälle der klassischen Elastizitätstheorie abgeleiteten Folgerung in diesem besonderen Falle[2]) auch experimentell erwiesen.

Wenn wir obigen Fall auf die Natur übertragen wollen, so ist folgendes zu bedenken. In der Natur ist die Sattelfläche und die antiklastische Krümmung schwach ausgebildet, der zweite Krümmungsradius ϱ sehr groß, meist nahezu unendlich. Nur selten ist die antiklastische Krümmung zu beobachten wie an dem hier abgebildeten, durch zwei Zerreißungsflächen seitlich begrenzten und infolgedessen schmalen Prisma von Gneis (Fundstelle: Ötztaler Alpen).

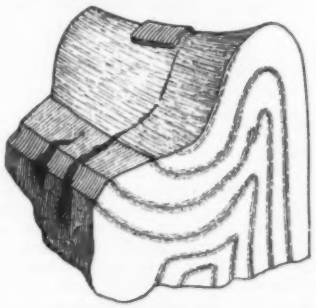

Fig. 6. Sattelfläche in gefaltetem Gneisstück. Etwa $^1/_3$ nat. Gr.

Sonst ist offenbar die Größe A' so groß, daß ϱ ebenfalls sehr groß wird. Das beruht hauptsächlich auf hohen Werten der Breite der gefalteten Schichtpakete (Prismen); die Breite ist fast stets zehnmal so groß als die Dicke. Nehmen wir etwa eine Falte im Schweizerischen Jura, der zu den am genauesten studierten Faltungsgebirgen gehört, so ist die Dicke einer einigermaßen kontinuierlich gefalteten Schichtfolge höchstens auf $1-1^1/_2$ km zu veranschlagen. Der Radius der Hauptkrümmung erreicht dabei sicher so kleine Werte wie $1-2$ km. Die Breite einer solchen Falte ist aber mindestens $2-3$ km, so daß $r : \frac{b^2}{2d}$ etwa $^2/_9$ bis $^4/_9$ ist, und demnach r/ϱ, da σ der Gesteine dem von Wachs-Kolophonium gleicht, etwa $= 0{,}2$ oder $\varrho = 1 : 0{,}2 = 5$ km ist, was schon eine ziemlich schwache Krümmung bedeutet. Erschwert wird die Wahrnehmung dieser schwachen antiklastischen Krümmung, die in Richtung der Achse der Hauptfaltung und -krümmung entsteht, dadurch, daß häufig die Falten in der Mitte am Scheitel eingeknickt sind (Kofferfalten usw.). Diese Unregelmäßigkeiten hängen vielleicht auch mit dem Bestreben zur Bildung eben dieser antiklastischen Krümmung zusammen.

[1]) Aus den Werten $-r/\varrho$ bei kleinem r für Kautschuk an der in bezug auf r konvexen oberen Grenzfläche ergibt sich, wie weitere Messungen zeigten, σ im Mittel kleiner als an der unteren konkaven. Das beruht darauf, daß σ von Kautschuk nach den Untersuchungen von RÖNTGEN und von BJERKEN nicht konstant ist, sondern von der Dehnung abhängt. Nun wird bei der Biegung die obere Fläche gedehnt, die untere zusammengepreßt.

[2]) Ein weiteres einfaches Problem der Elastizitätstheorie, das bei dem Deckenschub auftreten kann, sei beiläufig erwähnt, nämlich die Stauchung ohne Faltung durch gleichgerichtete gleichförmige Spannungen, die auf die Querfläche eines Prismas (Schichtenpaket) wirken. Hierbei wurde die Reibung berücksichtigt. Theorie und Experiment zeigen, daß in letzterem Fall in der Umgebung der Widerlagerflächen schwächere Querdilation auftritt als in der Mitte (Form griechischer Säulen). Die Seitendrucke, die vorhanden sein müssen, damit die Schubdecke sich nicht auflöst, plastisch fließt, wurden ausgerechnet.

Die theoretischen Betrachtungen und die experimentellen Befunde zeigen also übereinstimmend, daß es möglich ist, die Faltung plastischer Substanzen, der Gesteine, weicher Metalle[1]) usw., nach der klassischen Elastizitätstheorie zu berechnen.

Die *geologische Tektonik* ist daher heute *nicht mehr lediglich eine beschreibende*, sondern daneben auch *schon eine exakte Wissenschaft*. Es steht der *experimentelle Weg des Laboratoriumsversuchs mit naturgetreuen Modellen und der Weg der Rechnung nach der klassischen Elastizitätstheorie offen*.

[1]) Hieraus ergeben sich nicht nur für die Beobachtung in der Natur, *sondern auch für die Technik* wichtige Folgerungen.

Über das Verhalten von Libellen- und Eintagsfliegenlarven.

Von FRIEDRICH ALVERDES, Halle a. S.

In 3 Publikationen[1]) habe ich mich mit dem „Verhalten" der wasserlebenden Larven von Ephemeriden und Libellen — und zwar aus den Gattungen *Cloëon* und *Agrion* — beschäftigt. Bei diesen Larven funktionieren noch nicht, wie bei dem erwachsenen Tier, die 3 Nebenaugen, sondern allein die beiden Komplexaugen. Zerstört man bei einer *Cloëon*-Larve das eine Komplexauge mit Hilfe einer glühenden Nadel, so nimmt das Tier fortan eine durchaus schiefe Körperstellung ein; diese letztere ist eine Folge davon, daß die einseitige Blendung eine dauernde Herabsetzung des Muskeltonus auf der Gegenseite hervorruft. Am stärksten schief gehalten wird der Kopf; aufwärts gewandt ist dabei ausnahmslos das geblendete Auge. Im gleichen Sinne geneigt sind Thorax und Abdomen; das Hinterleibsende, das den geringsten Neigungsgrad aufweist, ist meist nach der geblendeten Seite herübergebogen. Dieses Herüberbiegen des hinteren Körperendes läßt sich erklären durch eine gewisse Erschlaffung der Abdominalmuskeln auf der der Blendung gegenüberliegenden Seite; entsprechend wird die Wendung des Kopfes hervorgerufen durch eine Herabsetzung des Muskeltonus auf der intakten Seite. Die 3 Extremitäten der geblendeten Seite behalten den normalen Streckungsgrad bei; diejenigen der Gegenseite sind hingegen mehr oder weniger stark eingekrümmt, wodurch aber der betreffende Körperrand nicht erhoben, sondern abwärts geneigt wird. Es funktioniert also das Komplexauge der *Cloëon*-Larve als „tonisches Sinnesorgan", d. h. der Muskeltonus der einen Körperhälfte wird weitgehend beeinflußt durch die Lichtperzeption, welche von seiten des Komplexauges der Gegenseite statthat.

Dunkelheit setzt bei der *Cloëon*-Larve in gleicher Weise den Muskeltonus herab wie die Blendung. Am deutlichsten ließ sich dies an einseitig geblendeten Individuen zeigen. Die betreffenden Tiere wurden aufgescheucht und, während sie noch herumschwammen, mit einem Pappsturz überdeckt. Wurde der letztere nach einigen Minuten wieder aufgehoben, dann drehten in gelungenen Fällen die Versuchstiere das Hinterleibsende regelmäßig zur geblendeten Seite herüber; gleichzeitig setzte eine geringfügige Bewegung nach der intakten Seite hin ein. Diese wurde dadurch verursacht, daß die 3 Extremitäten der dem intakten Auge gegenüberliegenden Seite sich ein wenig streckten, wobei aber die Krallen dieser Gliedmaßen am gleichen Platze verharrten. Infolgedessen wurde der Tierkörper seitwärts nach der ungeblendeten Seite verschoben, und die 3 Extremitäten, welche dieser letzteren angehörten, machten einige Bewegungen, bis ein neues Gleichgewicht gewonnen war; das Tier nahm dann die übliche schiefe Stellung ein. Diese ganzen Erscheinungen, die sich nach Belichtung der einseitig geblendeten, vorübergehend in Dunkelheit befindlichen *Cloëon*-Larve einstellten, erklären sich daraus, daß sich auf der dem intakten Komplexauge gegenüberliegenden Seite bei Beginn der Lichtperzeption der Muskeltonus erhöhte. Nach beiderseitiger Blendung wird der Muskeltonus in beiden Körperhälften gleichmäßig herabgesetzt, und das Tier sitzt wieder gerade.

Trotzdem bei der einseitig des Komplexauges beraubten *Cloëon*-Larve der Muskeltonus auf der Gegenseite dauernd verringert ist, vollzieht sich bei ihr das Schreiten geradlinig vorwärts und nicht etwa unter Abweichung nach der einen oder anderen Seite. Kreisbewegungen nach einseitiger Blendung werden für viele andere Objekte von den Autoren beschrieben; doch handelt es sich dann immer um Arten, die entweder positiv oder negativ phototaktisch sind, und zwar erfolgen Kreisbewegungen zum Lichte hin bei positiv, von diesem fort bei negativ phototaktischen Arten. Wenn nun die einseitig geblendete *Cloëon*-Larve sich in ihrer Fortbewegungsrichtung durch das Licht nicht beeinflussen läßt, so liegt dies daran, daß *Cloëon*-Larven weder positiv noch negativ phototaktisch sind, sondern sich dem Lichte gegenüber indifferent verhalten.

Hingegen schwimmen einseitig geblendete *Cloëon*-Larven ausnahmslos in Spiralen, was sich mit einer Kreisbewegung wohl in Parallele setzen läßt. Intakte oder beiderseits geblendete Kontrolltiere schwimmen nie in dieser Weise. Die Rotation vollzieht sich dabei im Sinne der beim Sitzen schon vorhandenen schiefen Körperstellung, also gleichsam mit dem geblendeten Auge voran über die intakte Seite.

Wenn bei der *Cloëon*-Larve die vom einen Komplexauge ausgeübte Photorezeption den Muskeltonus der Gegenseite beeinflußt, so ist damit natürlich noch nicht das Allermindeste über das Zustandekommen der Orientierung der Insekten zu einer Lichtquelle ausgesagt. Im Sinne der LOEBschen Tropismentheorie ist mein Befund also keineswegs zu verwerten. Denn eine solche Orientierung ist ein durchaus einheitlicher Akt; es arbeiten dabei nicht etwa zwei Körperhälften unabhängig voneinander oder gegeneinander.

Das Schreiten der *Cloëon*-Larven ist offenbar eine Tätigkeit, die in ihren Einzelheiten mehr unter der Kontrolle des Tieres steht als das Schwimmen. Dies geht aus dem Verhalten einseitig geblendeter Individuen hervor. Denn wenn das Schwimmen erst einmal in Gang gebracht worden ist, dann kann dabei das Tier die einseitige Herabsetzung des Muskeltonus nicht ausgleichen; beim Geradeausschreiten geschieht dies jedoch stets.

Das Schwimmen der *Cloëon*-Larve wird durch lebhaftes Auf- und Abschlagen des mit 3 langen Schwanzborsten versehenen Abdomens bewirkt; diese Schwanz-

[1]) Zool. Anz. **58**, 13—32. 1924; Biol. Zentralbl. **43**, 577—605. 1923; Zeitschr. f. wiss. Biol. Abt. A (im Druck).

borsten sind in der Horizontalen mit zahlreichen Fiederchen besetzt. Der Schwanzfächer ist für die *Cloëon*-Larve eine Art Universalorgan; er ist beim Schwimmen ebenso wie beim Schreiten und Klettern wichtig; im letzteren Falle stützt sich das hintere Körperende des Tieres auf die Borstenenden. Eine sehr wichtige Funktion der Schwanzborsten ist ferner die, daß das Tier unliebsamen Ankömmlingen dieselben entgegenreckt oder daß es mit ihnen wie mit Reitgerten Hiebe nach allen Seiten hin auszuteilen vermag. Auf diese Weise kann sich die *Cloëon*-Larve andere Tiere buchstäblich vom Leibe halten, sei es, daß diese bereits den drohend erhobenen Schwanzfächer fliehen (wie dies meist für die gut sehende *Daphnia* gilt), sei es, daß dieselben erst durch einen Hieb zu einer Änderung ihrer Bahn veranlaßt werden. Mit den Fühlern schlägt die *Cloëon*-Larve niemals, wohl aber streckt sie diese einem Ankömmling entgegen und nimmt ihn so dauernd unter Kontrolle. *Doflein* hat derartige Zielbewegungen der Fühler bei dekapoden Krebsen als „Signalreaktion" bezeichnet.

Bei Libellenlarven aus der Gattung *Agrion* läßt sich nach einseitiger Blendung eine Herabsetzung des Muskeltonus weder beim Sitzen noch beim Schreiten erkennen; wohl aber manifestiert sich eine solche beim Schwimmen. Denn hierbei bewegen sich einseitig geblendete *Agrion*-Larven ebenso in einer Spirale wie die des einen Komplexauges beraubten *Cloëon*-Larven.

Der Beutefang vollzieht sich bei den sehr räuberischen Libellenlarven in der Weise, daß das Labium vorgeschleudert und so die Beute gepackt wird. Dieses Vorschnellen des Labium wird bei der hungrigen, anderweit nicht gestörten *Agrion*-Larve ausgelöst durch jedes nicht zu große und nicht zu lebhaft bewegte belebte oder unbelebte Objekt. Für die Perzeption der Beute spielt die wichtigste Rolle der Tastsinn, die nächstwichtige das Auge. Als Organ des Tastsinnes sind senkrecht stehende, lange, dünne Haare anzusprechen, die vereinzelt überall am ganzen Körper sich finden. Vor dem Ergreifen gabelt die *Agrion*-Larve die Beute durch ihre beiden Fühler ein und ermittelt auf diese Weise den Standort derselben. Schneidet man die Fühler ab, so stört dies die Genauigkeit der Lokalisation in den ersten Tagen erheblich; doch lernen sowohl ungeblendete wie einseitig und beiderseitig geblendete Tiere innerhalb von etwa zwei Wochen mit der alten Präzision auch ohne Fühler die Beute zu fassen.

Außer dem Beutehaschen führt die *Agrion*-Larve mit Hilfe ihres Labium nicht allzu selten ein „Zwicken" aus, das lediglich der Verteidigung dient. Wenn zwei intakte Individuen die gleiche Beute beschleichen, so „hemmen" sie sich dabei wechselseitig erheblich, und zwar lediglich durch ihre Anwesenheit, ohne daß sie sich irgendwie berühren. Ist dann die Beute von dem einen der beiden Rivalen ergriffen worden, so faßt der andere nur noch in den seltensten Fällen ebenfalls zu. Entsprechend kann der Experimentator an seinem Objekt durch vorsichtiges Nähern einer Nadel den Raubinstinkt wecken; läßt er dann aber noch eine zweite Nadel erscheinen, so hält das Versuchstier inne oder zieht sich gar zurück. An einseitig geblendeten *Agrion*-Larven war zu zeigen, daß nach derjenigen Körperseite hin, auf welcher das Auge noch in Funktion ist, fast stets eine lebhaftere Reaktion eintritt als nach der blinden Seite. Auf rein optische Reize wird von seiten der *Agrion*-Larve in der gleichen Weise wie auf rein taktile reagiert; ein sehendes Tier packt also mit derselben Bewegung die still vor ihr liegende Mückenlarve wie ein geblendetes Individuum die vorüberschwimmende Beute.

Je länger man die Eintagsfliegen- und Libellenlarven beobachtet, um so klarer tritt es hervor, daß sie nicht bloß „Reflexmaschinen" sind (wie manche Autoren solche Tiere aufgefaßt wissen möchten), sondern daß es sich um höchst variabel und in Grenzen „autonom" reagierende Organismen handelt.

Besprechungen.

DESSAU, BERNHARD, **Lehrbuch der Physik.** Vom Verfasser aus dem Italienischen übertragen. 2. Bd.: Optik, Elektrizitätslehre. VI, S. 696—1627, 554 Abb. und 1 Tafel. Leipzig: Joh. Ambr. Barth 1924. Preis geh. 30, geb. 32 Goldmark.

An dem 1. Bande dieses Werkes habe ich an dieser Stelle s. Z. ziemlich scharfe Kritik geübt. Manches von dieser Kritik trifft auch auf den vorliegenden 2. Band zu. Auch er stellt nicht das grundsätzlich auf dem Boden moderner Anschauungen stehende Lehrbuch dar, wie es sich der heutige Experimentalphysiker als Hilfsmittel für seine Studierenden wünschen muß.

Mit dem heutigen Stande der Physik ist schon die stoffliche Einteilung nicht verträglich. Die Optik gehört nicht *vor* die Elektrizitätslehre, sondern als ein Spezialkapitel von ihr dahinter. Der Verfasser hat nicht den Versuch gemacht, — der sehr wohl durchführbar ist, — die Elektrizitätslehre von Anfang an auf die Elektronentheorie und die Atomistik überhaupt zu fundieren. Noch immer erscheinen die Röntgenstrahlen bei der Elektrizitätslehre, statt bei der Optik, wohin sie gehören. Die Behandlung der Radioaktivität, der Atomtheorie und Quantenlehre bei der Elektrizitätslehre läßt sich zur Not rechtfertigen, wenn es auch zweckmäßiger erschiene, die gesamte moderne Atomistik in einem besonderen Abschnitt zusammenzufassen. Keinesfalls aber gehört die Relativitätstheorie in die Elektrizitätslehre hinein. Der Verfasser hat alle diese Dinge, mit Ausnahme der in einem besonderen Kapitel behandelten Radioaktivität, in einem Kapitel „Vom Weltbild der heutigen Physik" zusammengefaßt. Dieser Titel ist völlig unzutreffend.

Zu bemängeln ist ferner die bildliche Ausstattung. Die Darstellungen von Apparaten, oft völlig unmoderne Typs, sind überaus roh. Von photographischen Klischees ist überhaupt kein Gebrauch gemacht. Auf der Spektraltafel würde man lieber die wichtigsten Typen von Spektren sehen, vor allem die Balmerserie, als die Spektren verschiedener weniger wichtiger Substanzen.

Auch in der Auswahl des Stoffes ist mancherlei auszusetzen. Gar manches könnte entbehrt oder kürzer gefaßt, anderes an die Stelle gesetzt werden. Ich vermisse, um nur einiges zu nennen, die Lummer-Gehrckesche Interferenzplatte, bei der drahtlosen Telegraphie wird fast ausschließlich der Kohärer und andere veraltete Methoden erwähnt, die einwandfrei als fehlerhaft nachgewiesene Geschwindigkeitsbestimmung der Röntgenstrahlen von MARX wird ausführlich behandelt und manches andere mehr.

Über der Kritik sollen aber die guten Seiten des Werkes nicht verschwiegen werden. Die Darstellung ist im allgemeinen klar und auch der Lehrende wird aus der Art der Darstellung in vielen Fällen mit Vorteil

lernen können. Die, — allerdings nicht organisch in das Werk hineingearbeitete, — Darstellung der Ergebnisse neuester Forschungen gibt dem Studierenden eine gute kurze Übersicht über das Wesentliche.

Solange wir also noch kein wirklich auf dem Boden des heutigen Wissens stehendes Lehrbuch der Physik besitzen, kann das vorliegende Werk mit ebenso gutem Gewissen empfohlen werden, wie irgendein anderes der bereits vorhandenen Werke.

W. WESTPHAL, Berlin.

FOX, H., **Disease in captive wild mammals and birds.** Philadelphia, London and Chicago 1923. VIII, 665 S. und 87 Fig. 26 × 18,5 cm. Preis £ 3,—.

Der Verf., der uns bereits durch seine Untersuchungen über Geschwülste bei Tieren bekannt ist, stellt hier die Krankheiten in Gefangenschaft gehaltener wilder Säugetiere und Vögel dar. Es handelt sich also nicht um die Krankheiten des jagdbaren Wildes (bezüglich deren wir in dem Werk von OLT und STRÖSE einen guten Führer besitzen), sondern um die Krankheiten fremder wilder Tiere, die dem Leben in freier Wildbahn gewaltsam entzogen sind, kurz um die Krankheiten der Insassen zoologischer Gärten. Es liegt auf der Hand, daß die Gefangenhaltung wilder Tiere, namentlich solcher, die aus Gegenden mit anderen klimatischen Verhältnissen stammen, neue, unnatürliche Lebensbedingungen schafft, die zur Quelle zahlreicher Erkrankungen besonderer Art werden können, Erkrankungen, die bei freilebenden Individuen der gleichen Spezies im allgemeinen nicht vorkommen und die sich in sehr vieler Hinsicht auch von den Leiden der Haustiere und des Wildes unserer Heimat unterscheiden. Es handelt sich mithin um ein Sondergebiet, über das bisher, abgesehen von gelegentlichen kasuistischen Mitteilungen, noch verhältnismäßig wenig bekannt ist. Die Kenntnis der Krankheiten gefangen gehaltener wilder Tiere ist nicht nur für die Tierärzte, sondern auch für die Leiter zoologischer Gärten von Bedeutung. Sie interessieren in hohem Maße nicht minder auch die vergleichende Pathologie. In bezug hierauf sei hervorgehoben, daß der Verf. selbst Pathologe ist.

Das Werk, ein starker Band von 665 Seiten, ist auf breiter Grundlage aufgebaut. Es behandelt ausführlich die Krankheiten der einzelnen Organsysteme und Organe unter besonderer Berücksichtigung ihrer pathologischen Anatomie und Ätiologie. Besondere Kapitel sind den „konstitutionellen" Krankheiten, den Beziehungen der Ernährung zur Entstehung von Krankheiten, den Geschwülsten, den Infektionskrankheiten und den parasitären Krankheiten gewidmet. Statistische Angaben und 28 Tafeln ergänzen den Text. Das Werk bringt eine Fülle von neuen, noch wenig oder gar nicht bekannten Tatsachen und Feststellungen. Auch die einschlägige Literatur ist berücksichtigt, jedoch keineswegs erschöpfend, insbesondere fehlt die Veterinärliteratur, namentlich die deutsche, fast vollständig. Auch sonst weisen die Zitate aus der deutschen Literatur Lücken auf.

Abgesehen von diesem Mangel stellt das Buch ein großzügiges Werk dar, das eine wertvolle Bereicherung unseres Wissens auf vergleichend-pathologischem Gebiete darstellt.

E. JOEST, Leipzig.

PÜTTER, AUGUST, **Stufen des Lebens.** Einführung in die Physiologie. Berlin: G. Stielke 1924. VI, 580 S. 15 × 23 cm. Preis geh. 7,50; geb. 10,— Goldmark.

Unter diesem zuerst etwas eigenartig anmutenden Titel gibt der Verf. für den Kreis der naturwissenschaftlich Vorgebildeten eine Übersicht über die Grundfragen der Physiologie im weitesten Sinne, d. h. der allgemeinen und der speziellen Physiologie der Tiere und, soweit wesentlich, auch der Pflanzen, sowie der Übergänge, die sie mit ihren Nachbarwissenschaften verknüpfen. Die Darstellung ist keine systematische in dem Sinne, wie sie sonst die Lehrbücher der Physiologie geben, die Verknüpfung der Erscheinungen jedoch, wie Verf. sie darstellt, ist trotzdem oder, man kann wohl sagen, gerade durch die gewählte Form anregend und reizvoll.

In einem einleitenden Kapitel „Wege der Wissenschaft" werden die Besonderheiten und die Stellung der Naturwissenschaften im Gesamtkomplex der Wissenschaften, sowie insbesondere die der biologischen Wissenschaften, vor allem der Physiologie, erörtert, und die Grenzen ihrer Aufgaben abgesteckt. Sodann werden unter dem Titel „An den Grenzen des Lebens" die Einflüsse der Umwelt, der physikalischen und chemischen, auf die belebten Wesen dargestellt, wobei zugleich deren Aufbau aus Zellen erörtert und eine Cellularphysiologie gegeben wird, sowie die Unterschiede aufgeführt werden zwischen der Tätigkeit lebender Zellen und ähnlich erscheinenden Vorgängen an leblosem Materiale („Lebensmodelle"). Es folgt eine Betrachtung der sog. vegetativen Funktionen: Ernährung, Atmung, Stoffwechsel, Ausscheidungen bei Pflanzen und Tieren. Dabei wird auch das Wesen der Energieumwandlungen bei beiden dargelegt.

Unter „Nervenleben" werden die spezifisch animalischen Lebensvorgänge besprochen: Reizbarkeit, Bedeutung der Sinnesorgane, Bedeutung der Nervenfasern und Nervenzellen und sehr eingehend die in den verschiedenen Teilen des Gehirnes ablaufenden Vorgänge unter Einbeziehung der seelischen Prozesse. Weiter werden diese noch erörtert in ihrem Werte für den Gesamtorganismus im Kapitel „Die Verfassung des Zellenstaates", das daneben die Bedeutung der Hormone — PÜTTER nennt sie Botenstoffe — und die der farblosen Blutzellen enthält.

Ein breiter Raum wird den Wechselbeziehungen zwischen Seelen- und Körperleben gewidmet. Fortpflanzung, Vererbung, Entwicklungs- und Gestaltungsvorgänge und die dem Absterben zugrunde liegenden Prozesse werden unter „Kreislauf des Lebens" zusammengefaßt. Ein Schlußkapitel „Erstrebtes und Erreichtes" gibt Betrachtungen über die Theorie des Lebens und über die Möglichkeit von der Physiologie aus zur Gewinnung eines Weltbildes und einer bestimmten Weltanschauung zu gelangen.

Die knappe Inhaltsangabe zeigt, daß das Pütter'sche Werk weite Wissensgebiete in den Rahmen seiner Darstellung einbezieht. Neben der eigentlichen Physiologie fallen Streiflichter auf die Morphologie, Paläontologie, Chemie (die Kolloidchemie ist vielleicht etwas zu kurz gekommen), Psychologie und auf die Pathologie. Jede Frage wird an der Hand einfacher und allgemeinverständlicher Beispiele erläutert, die Bedeutung der mitgeteilten Tatsachen wird von allgemeineren Gesichtspunkten erörtert und mit einer wohltuend berührenden Kritik werden die Schlüsse daraus gezogen, die wissenschaftlich vertretbar sind. Dabei zeigt Verf., wie weit diese in den meisten Fällen von einer Beantwortung gerade der grundsätzlichen Fragen über das Wesen der einzelnen Lebensprozesse entfernt bleiben müssen, und versteht es uns zum Bewußtsein zu bringen, innerhalb wie enger Grenzen sich trotz aller darauf gerichteten intensiven Forschungen unsere Erkenntnis von der Natur des Lebens bewegt.

Bei der Fülle des verarbeiteten Materiales — die es bedauerlich erscheinen läßt, daß dem Buche kein

Register beigegeben ist — kann jedes Einzelne nur knapp berührt und mancherlei muß ohne ausreichende Begründung als Tatsache hingestellt werden. Einzelnes, wie die Lehre von den Vererbungsvorgängen, ist dabei wohl etwas zu knapp für ein vollkommenes Verstehen geraten. Aber das zeigt nur, wie sehr die behandelten Probleme in die Tiefe gegangen sind, und wie schwer es ist, sie alle auf einem verhältnismäßig engen Raume darzustellen, selbst bei so ausgesprochener Befähigung zu klarer und leichtverständlicher Darstellung, wie sie dem Verf. eigen ist.

Jedenfalls werden alle, denen an einem auf der Höhe des heutigen Wissens stehenden und zugleich kritischen Überblick über die Grundfragen der Lehre vom Leben gelegen ist, durch das vorliegende Werk auf das beste belehrt werden. A. Loewy, Davos.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Bemerkung zur Arbeit von E. Ryschkewitsch und K. Fajans.

Naturwissenschaften **12**, 304, 1924.

In einem früheren Heft dieser Zeitschrift wird von Herrn Ryschkewitsch und Fajans berichtet über Versuche, wobei es ihnen gelungen sein soll, Graphitstäbe durch elektrische Widerstandserhitzung zum Schmelzen zu bringen. Ihre Versuche sind im wesentlichen denen von O. P. Watts und C. E. Mendenhall[1]), die allerdings nicht erwähnt werden, nachgebildet. Auch diese Autoren haben Graphitstäbe von verschiedener Herkunft durch elektrische Widerstandserhitzung auf hohe Temperatur gebracht und bei 3300—3500° C das Auftreten eines Bogens und von tropfenartigen Gebilden von Graphit gefunden; sie bemerken aber ausdrücklich, daß sie dieselbe nicht für verflüssigten und wieder erstarrten Graphit halten und wohl hauptsächlich darum, weil die genannten Gebilde sich immer an den kälteren Stellen bilden, weshalb sie auf Sublimationserscheinungen zurückgeführt werden.

Ich habe seinerzeit diese Schmelzerscheinungen kritisiert[2]). Ähnliche Erwiderungen sind auch von anderer Seite veröffentlicht[3]). Schon vor 2 Jahren sind die Versuche von W. und M. von mir gemeinsam mit Herrn Dr. P. Cath wiederholt worden. Wir sind dabei von Graphitstäben ausgegangen, welche wir in einer in der Glühlampentechnik üblichen Wolframpräparierglocke durch Widerstandserhitzung in Wasserstoffatmosphäre (1 atm.) bis Temperaturen von ca. 3300° C erhitzen konnten. Später haben wir dieselben Versuche in Kohlenfadenlampen mit Argonatmosphäre ausgeführt, sind dabei aber auf genau dieselben Befunde wie W. und M. gekommen, so daß wir es nicht für nötig hielten, diese Versuche zu veröffentlichen. Die charakteristischen Erscheinungen, welche man sonst beim Durchschmelzen von Stäben aus hoch schmelzenden Materialien, wie Wolfram und Molybdän, beobachtet n. l. das Auftreten von einem geschmolzenen Kern in der Längsachse, sowie das verflüssigte Aussehen an den durchgeschmolzenen Enden des Stabes sind dabei immer ausgeblieben[4]).

Eindhoven (Holland), den 15. Mai 1924.

J. A. M. v. Liempt.

Die obigen Bemerkungen von Herrn v. Liempt lassen alles das, was für unsere Versuche charakteristisch ist und was wir zum Beweis unserer Auffassung angeführt haben, vollkommen unbeachtet. Nur dank dem, unseres Wissens zuerst von dem einen von uns[1]) benutzten Kunstgriff — Anwendung eines an einer Stelle verjüngten Stabes — war es möglich, die beschriebene, klare und leicht reproduzierbare Erscheinung der innerhalb etwa $^1/_{10}$ Sekunde sich vollziehenden und gleichzeitig im ganzen verjüngten Querschnitt auftretenden Teilung des Stabes zu erhalten und näher zu verfolgen. Es trifft zu, daß Watts und Mendenhall viel früher die Bildung eines Bogens durch Widerstandsheizung eines Stabes beobachtet haben. Da aber bei ihnen „der Querschnitt des Stabes durch Verbrennung und Sublimation allmählich abnahm", indem in ihren Versuchen „ein Kohlenstab 3—5 Minuten in freier Luft brannte", waren ihre Zweifel, ob eine Durchschmelzung vorliegt, durchaus berechtigt. Bei unseren Versuchen kann es sich auch nicht um die von Watts und Mendenhall beschriebenen „heftigen Explosionen" handeln, „die zweifellos von schneller Erzeugung von Kohlendampf im Innern des Stabes herrührten", und auch nicht um „das sehr ausgeprägte Anschwellen von Kohlenstäben, das bei schnellem Erhitzen auftrat". Das lehren nicht nur die von uns erhaltenen photographischen und kinematographischen Bilder, sondern auch der Umstand, daß die Temperatur, bei der die Erscheinung auftrat, keine Abhängigkeit vom Druck erkennen läßt.

Das Auftreten eines geschmolzenen Kernes in der Längsachse konnte auch bei unseren Versuchen nicht beobachtet werden, da ja das Schmelzen in dem verjüngten horizontalen Querschnitt erfolgt. Dagegen sind in der früheren Mitteilung[1]) so viele Anhaltspunkte für das „verflüssigte Aussehen" der durchgeschmolzenen Enden des Stabes angeführt worden, daß wir ein nochmaliges Eingehen darauf für überflüssig halten.

Eine Kritik unserer Auffassung müßte wohl an die von uns beschriebene Erscheinung anschließen und diese anders als durch Schmelzung zu erklären versuchen.

München, 5. Juni 1924.

K. Fajans. E. Ryschkewitsch.

Der Nachweis einer Absorptionslinie des Jodatoms.

Im Emissionsspektrum des Jod wurde bei 2063 ÅE eine isolierte Linie äußerst großer Intensität gefunden. Mit einer kleinen — mit Schwingungen über Außenelektroden erregten — Quarzröhre mit sehr reiner

---

[1]) Ann. d. Physik **35**, 783. 1911.

[2]) Anorg. u. allgem. Chemie **115**, 218. 1921. Ausdrücklich will ich hier betonen, daß das „Lummerphänomen" selbst von mir niemals geleugnet ist. Nur glaube ich nicht, daß wir es hier mit flüssigem Kohlenstoff zu tun haben. Ich hoffe später an anderer Stelle darauf zurückzukommen.

[3]) A. Thiel und F. Ritter, Anorg. u. allg. Chemie **132**, 125 u. 153. 1923; P. Wibaut, Rec. trav. chem. **41**, 453. 1922; H. Jedrzejewski und L. Wertenstein, Compt. rendu **177**, 316. 1923.

[4]) Vgl. auch F. Sauerwald, Zeitschr. f. Elektr. **28**, 183. 1922.

[1]) Ryschkewitsch, Zeitschr. f. Elektrochem. **27**, 445. 1921. In dieser Arbeit sind alle früheren einschlägigen Versuche u. a. auch die von Watts und Mendenhall eingehend besprochen. Es lag keine Veranlassung vor, in unserer kurzen vorläufigen Mitteilung in dieser Zeitschrift gerade auf letztere Versuche nochmals hinzuweisen.

Jodfüllung bei einem Druck von einigen Zehntel Millimeter wird die Linie mit den großen Hilgerschen Quarzspektrographen auf einer mit Paraffinöl sensibilisierten Platte schon in wenigen Sekunden erhalten. Bei niederem Dampfdruck ist die Linie scharf, bei hohem Dampfdruck und in stark erhöhtem Maße im Jodbogen ist sie wesentlich verbreitert. Wird zwischen Emissionsrohr und Spektrograph ein mit Jod beschicktes evakuiertes Quarzrohr mit 8 cm Länge geschaltet, so wird bei zunehmender Erhitzung des Absorptionsrohres (Steigerung von Dampfdichte *und* Temperatur) die Linie schwächer: es tritt Absorption ein. Hat die Emissionsröhre einen Dampfdruck von einigen Millimetern, so ist bei einem Joddruck von 8 mm und 70° C eine Schwächung gerade merkbar, bei $\sim$ 300 mm und $\sim$ 150° C ist die Linie verschwunden. Ist der Dampfdruck der Emissionsröhre nur 0,2 mm, also die Emissionslinie sehr scharf, so ist die Schwächung bei $\sim$ 8 mm und — 70° C merklich stärker. Auch bei einer um das vielfache gesteigerten Belichtungszeit tritt die Linie nicht wieder auf. Daß es sich *nicht* um eine Zerstreuung des ultravioletten Lichtes im dichten Joddampf oder um eine Bandenabsorption des Jodmoleküls handelt, wurde durch Aufnahme des Zn-Funkenspektrums durch das Jodabsorptionsrohr nachgewiesen.

Der Partialdruck der *Jodatome* liegt bei den oben angegebenen Verhältnissen (150°, 300 mm) zwischen 10^{-5} und 10^{-6} mm. Die überraschend starke Absorption erklärt sich durch die sehr starke Verbreiterung der Absorptionslinie bei dem hohen Druck des elektronegativen Jod.

Wir hoffen bald über weitere Absorptions- und Resonanzversuche mit dieser Linie berichten zu können. Da die Versuche durch Mangel an Apparaten sehr aufgehalten sind, erlauben wir uns diese vorläufige Notiz zu publizieren.

Frankfurt a. M., 5. Juni 1924.

W. Gerlach. Fr. Gromann.

Das Spektrum des einfach ionisierten Lithiums.

Das neutrale Atom eines Elementes, zum Leuchten angeregt, erzeugt das Bogenspektrum. Wird dem Atom ein Elektron genommen, so erzeugt der angeregte Atomrest das erste Funkenspektrum. In der Spektroskopie sind bis jetzt bei einer Reihe von Elementen die ersten Funkenspektren bekannt. Bildet man bei diesen Elementen das Verhältnis:

$$\frac{\text{Grundterm des Funkenspektrums}}{\text{Grundterm des Bogenspektrums}}$$

oder mit anderen Worten

$$\frac{\text{Abtrennungsarbeit des 2. Elektrons}}{\text{Abtrennungsarbeit des 1. Elektrons}},$$

so ergibt sich in allen bekannten Fällen ungefähr der Wert 2. Beim Li beträgt die Abtrennungsarbeit des äußersten Elektrons in der in Volt üblichen Ausdrucksweise 5,37 Volt. Um auch das 2. Elektron vom Atomrest zu entfernen und damit die Möglichkeit der Ausstrahlung des ersten Funkenspektrums zu geben, sind nach theoretischen Überlegungen mindestens 55 Volt, wahrscheinlich aber noch etwas mehr Energie, nötig.

In dem Verhältnis $\frac{55}{5{,}37} \sim 10$ gegenüber dem sonst üblichen Wert 2 kommt die Schwierigkeit, das erste Funkenspektrum des Li zu erzeugen, am besten zum Ausdruck. Erst vor kurzem konnte F. L. Mohler (Phys. Rev. **23**. 1924) bei Bombardement von Li-Dampf mit Elektronen bis 200 Volt Geschwindigkeit feststellen, daß bei Geschwindigkeiten von etwa 50 Volt an eine Linie 2934,15 auftrat, von der er vermutete, daß es eine Grundlinie des Li^+ wäre.

Es ist jetzt gelungen, mit einer für Funkenspektra besonders geeigneten, intensiven Lichtquelle[1]) das Li^+-Spektrum so zu erzeugen, daß Gesetzmäßigkeiten erkannt werden konnten. Das Serienschema des Li^+ ist vorläufig ungefähr festgelegt worden. Aus den rohen Messungen, es liegen bis jetzt nur Aufnahmen mit einem Hilger-Quarzspektrographen und okulare Messungen mit einem Hilger-Glasspektrographen vor, hat sich etwa folgendes ergeben: Das Li^+-Spektrum hat in Analogie zum He-Bogenspektrum ebenfalls 2 Systeme. Der größte Teil der neuen Linien konnte eingeordnet werden. Die stärkeren Linien des neuen Spektrums seien hier wiedergegeben:

Doppelliniensystem		Einzelliniensystem	
2934,15	2 s—2 p	5490	2 S—2 P
3684	3 s—4 p	4350	3 S—4 P
2672	3 s—5 p	3055	3 S—5 P
4333	3 p—4 d	3165	3 D—5 P
3028	3 p—5 d	4890	3 P—4 D
2608	3 p—6 d	3296	3 P—5 D
4676	3 d—4 f	4684	3 D—4 F
3196	3 d—5 f	3199	3 D—5 F
2728	3 d—6 f	2730	3 D—6 F
2508	3 d—7 f		

Es wird dadurch wahrscheinlich gemacht, daß 2934,15, wie bereits Mohler vermutet hatte, 2 s—2 p des Doppelliniensystems ist und der He-Linie 10 830 entspricht. 5490 wohl die zweitstärkste Linie in dem neuen Spektrum wäre nach dem vorliegenden Befund Grundlinie des Einzelliniensystems und würde dann 20 851 entsprechen.

Die für die endgültige Festlegung des Spektrums notwendigen Versuche werden z. Z. im Physikalischen Institut in Tübingen durchgeführt.

Tübingen-Potsdam, 4. Juni 1924.

H. Schüler.

Die Pflanzenerforschung der Luft.

Es mutet in der heutigen Zeit sehr seltsam an, daß die Arbeit, die Pflanzenwelt der Luft zu erforschen, noch nicht in Angriff genommen worden ist. Es sind zwar nicht sehr viele Pflanzen, welche die Fähigkeit besitzen, im Luftmeer zu wohnen. Im allgemeinen sind es ja Ruheformen (Sporen, Samen, Früchte), die infolge ihres geringen Gewichtes oder besonderer Flugeinrichtungen in die Höhe gehoben werden und sich dort schwebend halten. Bis zu welchen Höhen können die Organismen emporgetragen werden? Wie ist die horizontale Verteilung? Für die Pflanzengeographie lassen sich gewiß wertvolle Feststellungen machen. Auf welche Entfernungen sind Wechselwirkungen zwischen Florengebieten möglich? Für welche Organismen und in welchem Maße sind Meere und Höhenzüge Schranken der Verbreitung? Auch auf die entwicklungsgeschichtlichen Theorien werden die Ermittlungen befruchtend wirken. Für die medizinische Wissenschaft wertvoll sind Erkundungen, wie weit Bakterien, Bakteriensporen, Pilzsporen von Luftströmungen ver-

[1]) Die Lichtquelle beruht auf ganz anderen Prinzipien als die Lichtquelle von Mohler. Sie liefert 2934 mit der Intensität der 4. Linie der Hauptserie des Li-Bogenspektrums, während Mohler 2934 im besten Falle mit der Intensität der 6. Linie der Hauptserie erhält.

schleppt werden können. So wird die Erforschung der Luft die Kenntnisse von dem Leben der Krankheitserreger erweitern und Aufschluß über die Verbreitungsmöglichkeiten der menschlichen, tierischen und pflanzlichen Epidemien geben. Aber nicht nur die Luftschichten der verschiedenen Höhen müssen erforscht werden, sondern auch die Wolkenbildungen.

Technische Schwierigkeiten stehen der Durchführung nicht im Wege; Methoden sind leicht ersonnen. Durch Erfahrung werden bald günstige Fangvorrichtungen und erforderliche Expositionszeit gefunden sein. So soll denn der Versuch gewagt werden, auf daß wir von den Luftschichten in den verschiedensten Höhen und während der verschiedenen Jahreszeiten, von den Schichten über allen Gebieten, über Land und Meer, Berg und Tal etwas erfahren. Keineswegs sollen die zu erwartenden Erkenntnisse überschätzt werden. Aber wir haben nicht das Recht, eine uns gegebene Möglichkeit ungenutzt zu lassen. Wir Menschen des Zeitalters der Lufteroberung haben die Pflicht, die erworbene Fähigkeit in den Dienst der Wissenschaft zu stellen. Die Hilfsmittel sind da; sie harren der Nutzung!

Bonn, den 16. Juni 1924. W. Riede.

Biologische Mitteilungen.

Phototaxis und Gewohnheitsbildung bei Daphnien. (G. H. J. Blees, Arch. néerland. de physiol. de l'homme et des anim. **8**, Liefg. 4, S. 583–585. 1923.) Verf. berichtet, ohne ausdrücklich darauf hinzuweisen, über die bereits 1919 in einer ausführlichen Mitteilung an gleicher Stelle (Bd. 3, S. 279–306) veröffentlichten Befunde an Daphnien; dort sind auch die graphischen Darstellungen zu finden, von denen hier die Rede ist. In einem einseitig beleuchteten Behälter, der 3 cm hoch mit Wasser gefüllt ist, befindet sich eine beiderseits offene, rechtwinklig geknickte Röhre, deren kurzer senkrechter Schenkel oben im Wasserspiegel endigt, während der längere wagerecht auf dem Boden liegt. Durch die obere Öffnung am Wasserspiegel wird eine „positiv phototrope" Daphnie eingeführt, die natürlich nur durch die Öffnung des wagerechten Schenkels (Ö.) die Röhre verlassen kann. Bei Beginn der Versuche, stets mit einzelnen numerierten Individuen, ist Ö. dem Lichte zugewandt; die Tiere durchschwimmen jetzt den horizontalen Schenkel in 10–15 Sekunden, stoßen 4–5mal an die Wände an und schwimmen, nachdem sie Ö. passierten, geradeswegs dem Lichte zu. Jetzt wird das Rohr im Winkel von 45° zum Lichteinfall gedreht; das Tier stößt zuerst etwa 20mal gegen die Wände, bevor es Ö. findet, bei Wiederholungen sinkt die Anzahl der Anstöße. Noch deutlicher wird das „Lernen" der Tiere in den weiteren Versuchen, wo das Rohr senkrecht zum Lichteinfalle steht, wo also das ganze Rohr bei gleicher Intensität ohne Lichtgefälle durchmessen werden muß und wo es nur mit Richtung auf wenig helle Partien des Behälters verlassen werden kann. Hier ergaben sich richtige „Lernkurven" für jeden Tag; am folgenden Tage ist die Anfangszahl der Anstöße stets wieder erheblich angestiegen. Wird das Rohr gar im Winkel von 135° oder endlich von 180° gegen den Lichteinfall gedreht, so daß zuletzt also der senkrechte Schenkel dem Licht zugewandt und Ö. am weitesten von der Lichtquelle entfernt ist, so „lernen" die Tiere dennoch, entgegen dem positiven Sinne ihrer Phototaxis schwimmend das Rohr zu verlassen: sie durchmessen das Rohr, indem sie sich immer weiter vom Lichte entfernen, wenden sich aber, sobald sie durch Ö. ins Freie gelangten, wieder dem Lichte zu. Eine zweite Versuchsanordnung mit einer senkrechtstehenden, von unten her beleuchteten Röhre führte zu entsprechenden Ergebnissen. Verf. hält demnach den Beweis für erbracht, daß Daphnia Lernvermögen besitze, und wendet sich gegen Loeb, der eine rein maschinenmäßige Auffassung der phototaktischen Vorgänge vertrete, in der für psychische Dinge wie Gewohnheitsbildung, Lernvermögen u. ä. kein Platz sei. Ref. teilt die Auffassung des Verf. einstweilen nicht, solange der naheliegende Kontrollversuch fehlt, das Verhalten „undressierter" Tiere unter den gleichen Bedingungen zu untersuchen. Ich halte es für möglich, daß diese ebenso eine tägliche „Lernkurve" geliefert hätten, da schon Yerkes zeigte, daß Copepoden und wahrscheinlich auch Daphnien, in enge Röhren verbracht, den Sinn ihrer Phototaxis wechseln. Zudem weiß jeder, der das Objekt aus eigener Erfahrung kennt, wie variabel die phototaktische Stimmung von Daphnien ist und wie viele scheinbar unbedeutende Nebenumstände, über die wir vom Verf. nichts erfahren, hier mitsprechen. Ref. hat bei jahrelanger Beschäftigung mit dem Lichtsinn der Daphnien niemals Tiere gesehen, die tagelang, geschweige denn Wochen hindurch stets unveränderlich positiv phototaktisch gewesen wären; und ein solches Verhalten bildet die Voraussetzung für die Richtigkeit der Deutung, die der Verf. seinen Versuchen gibt.

Über Begriffsbildung bei Hunden. (H. de Jong, Arch. néerland. de physiol. de l'homme et des anim. **8**, Liefg. 4, S. 586–591. 1923.) Zur Entscheidung der Frage, ob Hunde im menschlichen Sinne intelligent sind, d. h. Gedanken und Begriffe, Zweckbewußtsein, Einsicht und Einbildungskraft besitzen, so wie Hobhouse es annahm, oder ob man ihnen mit Thorndike diese Fähigkeiten absprechen müsse, stellte Verf. folgende Versuche an: 1. Der Hund kommt in einen Gitterkäfig, dessen eine Wand als Tür ausgebildet ist; sie läßt sich durch Herabdrücken eines Hebels leicht öffnen. Alle 3 Hunde lernten es bald, den Hebel mit der Pfote herabzudrücken und sich so den Weg zu dem vor der Türe liegenden Futter zu bahnen. Doch gelang es ihnen stets nur mittels blinden Herumprobierens (Versuch und Irrtum). Wird, nachdem der Hund seine Aufgabe beherrscht, der ganze Käfig um 90° gedreht, so kratzt der Hund an derjenigen Ecke des Käfigs, die dort im Raume steht, wo vor der Drehung der Hebel war; der Hebel selbst aber wird nicht beachtet und erst später wieder rein zufällig von neuem entdeckt, worauf der Lernprozeß abermals beginnt. Erst wenn der Käfig oftmals gedreht wurde, sucht der Hund den Hebel als solchen, unabhängig von der Lage im Raume. Wenn weiterhin der Hund vor dem Käfig saß, in den das Futter hineingelegt war, so öffnete Bob zwar den Hebel, blieb aber vor der aufgeschlossenen Tür sitzen und starrte durch ihre Stäbe den Futternapf an, anstatt sie vollends zu öffnen. Ebenso kehrt der Hund, der soeben den Käfig geöffnet und verlassen hat, wenn man ihm nun Futter in den Käfig wirft, nicht durch die halb offen stehende Tür zurück, sondern er kratzt an allen Seiten des Käfigs wahllos herum. Auch als der Käfig auf den Kopf gestellt wurde, so daß der Hebel jetzt angehoben werden mußte, um die Tür zu öffnen, beginnt das blinde Herumprobieren von neuem. Erst allmählich erlernen die Hunde, den Hebel mit der Schnauze zu heben. — 2. Es wurde ein elektrischer

Türöffner eingebaut, der sich durch kräftiges Zusammendrücken eines buchdeckelartigen Doppelbrettchens auslösen ließ. Zuerst lag das Brettchen auf dem Boden. Als die Reaktion durch langes Herumprobieren erlernt war, stellte Verf. das Brettchen senkrecht gegen die Wand, worauf sich die Hunde sämtlich völlig desorientiert zeigten. Eine neben das Brettchen gestellte Untertasse wurde ebenso oft gestoßen wie das Brettchen selbst, und durch reinen Zufall gelang endlich die Lösung. Wurden zur Gegenprobe das Brettchen und ein ihm ähnlich sehender Pappkarton auf den Boden nebeneinander gelegt, so beachtete kein Hund die Pappe, sondern jeder löste die Aufgabe sofort in einem Zuge. — Als ein Stuhl mit dem Futternapfe darauf neben die Seitenwand des Käfigs gestellt wurde, anstatt wie bisher gegenüber der Türe, öffnete André zwar die Tür, ging aber nicht hindurch, sondern vielmehr immer wieder im Käfig zu der Wand, durch deren Stäbe hindurch er dem Futter räumlich am nächsten kam, und starrte durchs Gitter die Speise an. Selbst als er nach langem Hin und Her die Lösung gefunden hatte, verliefen Wiederholungen nicht wesentlich besser. Sogar wenn der durch die Käfigdecke eingesetzte Hund die Tür offen fand, rannte er wiederholt an der offenen Tür vorbei gegen die geradezu als Falle wirkende Seitenwand, die den Anblick des Futters gewährte. 3. Hobhouse hatte angegeben, daß Säugetiere, z. B. Katzen, es erlernen, ein Stück Fleisch, das auf einem Pappteller auf dem Tische liegt, durch Anziehen eines am Teller befestigten herabhängenden Fadens zu sich auf den Boden zu befördern. Als Verf. den Versuch mit seinen Hunden wiederholte, ging es zuerst gar nicht. Auch als man am Faden einen Pappring befestigte und die Pfote des Hundes hindurchsteckte, riß er das Fleisch zwar herab, konnte aber die Aufgabe von sich aus nicht lösen. Hobhouse hatte das Fadenende für seine Katzen mit Fischgeruch parfümiert; wenn Verf. zum Ersatz den Pappring tanzen ließ, so packte der Hund zu und so konnte es dahin kommen, daß das Fleisch herabfiel; aber von einem zielsicheren Lösen der Aufgabe war keine Rede. — Kurzum, es fehlt jegliche, noch so primitive Einsicht in die Mittel, das Ziel zu erreichen, und ebenso fehlt Schlußvermögen. Lediglich durch Versuch und Irrtum wird etwas erlernt, aber nicht die Lösung der Aufgabe im Prinzip, sondern eine gewisse Abfolge von Bewegungen. Deshalb scheitert der Hund an dem gleichen Problem des Türöffnens von außen und von innen, weil sie einmal geschoben, das anderemal gedrückt werden muß, um sich zu öffnen usw. Die Qualitäten des Komplexes (Volkelt) dominieren, zu Begriffen der Gegenstände, denen die Qualitäten anhaften, kommt selbst der Hund nicht. O. Koehler.

Lernfähigkeit gehirnverletzter Ratten. (Auguste Jellinek und Theodor Koppányi, Anz. d. Akad. d. Wiss., Wien, Mathem.-naturwiss. Kl. Jg. **1923**, Nr. 17. S. 130. 1923.) Vorläufige Mitteilung über Dressurversuche an gehirnverletzten Ratten, mit dem Ergebnis, „daß das assoziative Gedächtnis bei Ratten in weitem Maße von der Großhirnrinde unabhängig ist". Einer blinden Ratte wurde der ganze Großhirnmantel auf thermokaustischem Wege zerstört. Reste des Cortex waren nur an den basalen Teilen der Temporallappen und an den Riechlappen erhalten. Mit dieser Ratte wurde eine kinästhetische Dressur durchgeführt. Sie lernte in Assoziation mit der Fütterung, sich an einer bestimmten Stelle des Käfigs aufzurichten, und ließ sich auch auf eine neue Stelle umdressieren. Bei einer anderen Ratte wurde die gleiche thermokaustische Operation durchgeführt, wobei besonderes Gewicht auf vollkommene Zerstörung der motorischen und optischen Zone gelegt wurde. Erhalten geblieben waren vom Cortex die Riechlappen, die vorderen Teile der Frontallappen und die basalen Teile der Temporallappen. Die Zerstörung der Occipitallappen reichte bis zum Mittelhirn. Bei dieser Ratte gelang eine optische Dressur; sie lernte die Unterscheidung einer weißen Blechscheibe von einer gleich geformten blauen. Die vollkommene Dressur nahm nicht mehr Zeit in Anspruch als bei einer normalen Ratte. K. v. Frisch.

Die Rolle des Kerns bei der Ortsbewegung einer Entamöbe. (E. R. Becker, Proc. of the soc. f. exp. biol. a. med. **21**, Nr. 3, S. 155—156. 1923.) In der Kaulquappe des Ochsenfrosches lebt eine über 100 μ lange Entamöbe, die sich ähnlich unserer Pelomyxa als Ganzes fortbewegt, wobei im Endoplasma eine sehr deutliche Fontänenströmung auftritt. An der Spitze, wo das vorgeflossene Endoplasma sich teilt, um im Zylindermantel um den zentralen, vorwärts gerichteten Strom herum und an ihm entlang wieder rückwärts zu fließen, liegt stets der Kern, vorn in Ektoplasma eingebettet, hinten dem Gipfel der Endoplasmafontäne aufliegend, wie die Kugel dem Wasserstrahl des Springbrunnens. Bei der Fortbewegung sieht man den Kern dauernd seitlich oszillierende Bewegungen ausführen, offenbar indem das vorfließende Endoplasma den Kern immer wieder aus seiner augenblicklichen Stellung verdrängt. So bewegen sich die Spitze des Tieres und der Kern in Spiralbahnen vorwärts. Zerschneidet man die Amöbe, so kriecht der kernhaltige Teil, auch wenn er nur etwa $^1/_8$ des ganzen Volumens darstellt, nach dem beschriebenen Schema. Das viel größere kernlose Teilstück aber ist zu regelrechter Fortbewegung nicht mehr fähig, in vollem Gegensatz zu sämtlichen analogen Erfahrungen an anderen Amöben. Auch wenn der Kern nur mit Spuren anhaftenden Plasmas entfernt wurde, ist das kernlose Plasma nicht mehr normal bewegungstüchtig. — Wird endlich der Kern durch Deckglasdruck aus seiner gewohnten Stelle verdrängt, so fährt er im Zylindermantel nach rückwärts; alsbald aber hört das Vorwärtsfließen auf, und der Kern bleibt stehen. Dort aber, wo er jetzt liegt, bildet sich plötzlich ein Bruchsackpseudopodium, in welchem der Kern von neuem seine angestammte Lage zwischen Ektoplasma und Endoplasma einnimmt, worauf das Tier die Richtung des neuen Pseudopodiums einschlägt. — Alle diese Beobachtungen machen es äußerst wahrscheinlich, daß bei unserer Amöbe der Kern die Strömungsrichtung bestimmt, und zwar vermutlich, indem er das ektoplasmatische Gel etwas verflüssigt und dadurch seinen Widerstand gegen den Druck des Endoplasmas verringert. (Berichte üb. d. ges. Physiol. u. experim. Pharmakol. Band 23 u. 25. O. Koehler.

Über das Farbensehen von Daphnia magna Straus. (O. Koehler, Zeitschr. f. vergl. Physiol. **1**, 1924.) Der langjährige, teilweise mit großer Heftigkeit geführte Streit zwischen dem unlängst verstorbenen Münchener Ophtalmologen v. Hess und dem Zoologen v. Frisch über das Farbensehen der wirbellosen Tiere und Fische, der den Lesern der „Naturwissenschaften" bereits durch Aufsätze v. Frischs und Kühns bekannt ist, wird jetzt mehr und mehr zu Gunsten der v. Frischschen Auffassung entschieden. In vorliegender Arbeit untersucht nun Koehler, ob Daphnien (Wasserflöhe) nur, wie v. Hess meint, auf Intensitäts-(Quantitäts-)unterschiede des Lichtes oder auch auf Unterschiede in der Wellenlänge (Qualität) nach v. Frichs Ansicht reagieren. v. Hess arbeitete mit dunkel- und hell-

adaptierten Tieren, während KOEHLER im Anschluß an v. FRISCH und KUPELWIESER nur einen sog. „mittleren Adaptationszustand" als für Farbenversuche geeignet bezeichnet. In diesem mittleren Adaptationszustand haben sich die Tiere an eine vorübergehend optimale mittlere Helligkeit angepaßt, die sie beizubehalten bestrebt sind, sie reagieren also auf Erhellung dieser Beleuchtung negativ und auf deren Verdunkelung positiv phototropisch. Im Gegensatz zu v. HESS, der vornehmlich die Vertikalbewegungen der Daphnien (bei Dunkeltieren auf Erhellung passives Absinken, auf Verdunkelung aktives Aufsteigen, bei Helltieren unter Umständen umgekehrt) als Reaktionskennzeichen benutzte, beobachtete KOEHLER die auf die Beleuchtung einsetzenden Horizontalbewegungen zur Lichtquelle oder von ihr weg, indem er die die Daphnien enthaltenden Glaströge von der Schmalseite her nacheinander („Sukzessivmethode") mit den verschiedenen Spektralfarben beleuchtete. Dabei ergab sich, daß Rot, Orange, Gelb, Gelbgrün und Grün die Tiere positivierte und Blau und Violett sie negativierte, gleichgültig, ob die Farben auf Dunkelheit oder auf Helligkeit folgten. Da die Spektralfarben durch Zerlegung des weißen Lichtes gewonnen wurden, an das die Tiere angepaßt waren, waren sie dunkler als dieses. Somit müßten, falls mit v. HESS nur die Helligkeitsdifferenzen und nicht die Farbwerte Reizwerte besäßen, alle diese Farben die Verdunkelungsreaktion (= positiv) hervorrufen, wenn sie auf Helligkeit folgen. Ebenso müßten alle diese Farben, auf Dunkelheit folgend, die Erhellungsreaktion (= negativ)hervorrufen. Da die Tiere aber innerhalb gewisser Grenzen stets spezifisch auf die Farben ohne Rücksicht auf Erhellung oder Verdunkelung reagierten, muß notwendigerweise auch die Wellenlänge des Lichtes neben der Quantität als Reiz auf die Tiere wirken. Sie müssen also mindestens einen Farbensinn für zwei Qualitäten besitzen, da sie langwelliges Licht bis zu ca. 520 $\mu\mu$ positiviert und kurzwelliges von ca. 480 $\mu\mu$ abwärts sie negativiert und da sie diese Lichtqualitäten von weißem Licht unterscheiden können. Spektrales Blaugrün und Purpur (gewonnen durch Mischung von spektralem Rot und Blau oder Violett) negativierte auf Dunkelheit folgend und positivierte auf Helligkeit folgend, und gewisse Weißintensitäten übten auf die Tiere dieselbe Wirkung aus wie diese beiden Farben. Daher wäre es denkbar, daß diese Farben nicht als solche bemerkt werden könnten, was Verf. jedoch aus bestimmten Gründen nicht unbedingt bejaht. Komplementärfarben (kurzwelliges Rot — langwelliges Blau, Gelb — kurzwelliges Blau, Gelbgrün — Violett) zu farblosem Weiß gemischt wirkten auch auf die Daphnien wie weißes Licht. Diese Farben sind mithin wie für den Menschen auch für die Daphnien Komplementärfarben. — Bei Versuchen mit Heringschen Farbpapieren ergaben sich die gleichen Resultate, wobei besonders auf die Ausschaltung von Beimengungen ultravioletten Lichtes geachtet wurde. Damit begegnete K. dem v. Hess'schen Einwand, der eine seiner Ansicht nach nur scheinbare Wirkung der Farbe ihrem Gehalt an ultravioletten Licht zuschrieb. — Versuche an dunkeladaptierten und an helladaptierten Tieren zeigten, daß sie in diesem Zustand tatsächlich, wie v. HESS angibt, nur auf Helligkeits- und nicht auf Farbdifferenzen reagierten. Ihr Verhalten gleicht also dem des *farbentüchtigen* Menschen, der auch im dunkeladaptierten Zustand genügend lichtschwache homogene Farben und im helladaptierten Zustand extrem helle Lichter farblos sieht. Auch der Übergang aus dem totalfarbenblinden in den farbensehenden Zustand liegt für die Daphnien in denselben Intensitätsgebieten wie für den farbentüchtigen Menschen. So riefen Rot, Gelb und Grün, die für den Menschen in der Dunkelheit noch farblos waren, bei den Daphnien auf Dunkelheit folgend negative Reaktionen hervor. Sobald aber die Farben für den Menschen bemerkbar wurden, reagierten die Tiere bereits positiv. Das farblose Blau negativierte schwächer als das farbige. Wenn auf das farblose Blau ein etwas helleres Weiß folgte, so wurde die Negativität stärker, wie wenn jenes Blau ein schwächeres Weiß gewesen wäre, aber auf eben farbiges Blau folgend positivierte helleres Weiß. Die Tiere hatten sich also bei dem farbigen Blau bereits auf die mittlere Adaptation eingestellt, während bei dem farblosen Blau die Reaktion gemäß der Dunkeladaptation ausfiel. — Dadurch, daß v. HESS nur die Hell- und Dunkeladaptation, aber nicht die mittlere Adaptation untersuchte, konnte er zur Parallelisierung des Verhaltens der Daphnien mit dem des farbenblinden Menschen gelangen. Die Koehlerschen Untersuchungen, die zum Teil auch methodisch bemerkenswertes und neues bringen, zeigen also in exakter Weise einen Weg zur Lösung dieses Gordischen Knotens.

Über den Farbensinn der Fische. (FRIEDRICH SCHIEMENZ, Zeitschr. f. vergl. Physiologie 1, 1924.) Die in vorstehendem Referat besprochenen Differenzen bestanden auch hinsichtlich des Farbensinns der Fische, und auch hier mehren sich die Versuche, die *für* einen Farbensinn der Fische sprechen, also gegen v. HESS und für v. FRISCH. SCHIEMENZ untersuchte in der vorliegenden Arbeit die Dressurfähigkeit von Stichlingen und Ellritzen auf bestimmte Farben. Zunächst wurde bei Stichlingen versucht, eine Assoziation der Dressurfarbe mit einem Flucht auslösenden Reiz zu erzwingen, indem den Fischen bei Annäherung an die auf der einen Seite des Aquariums befindliche „Schreckfarbe" ein elektrischer Schlag erteilt wurde, der bei Annäherung an eine auf der entgegengesetzten Seite befindliche andere Farbe, die „Ruhefarbe", wegfiel. So sollte der Fisch allmählich lernen, die „Schreckfarbe", auch ohne vorher den Schlag empfangen zu haben, zu meiden. Dieser Versuch gelang nur bei 3 unter 13 Tieren, jedoch zeigte er immerhin, daß Rot und Gelb als Farbe bemerkt und von allen verwendeten Grautönen unterschieden werden können. In einer zweiten Versuchsreihe wurden die Fische auf einen durch Beleuchtung mit spektralem Licht gefärbten Stab dressiert, mit dem ihnen Futter gereicht wurde. Diese Versuche ergaben bei Ellritzen klare Resultate, die Tiere schnappten nach einiger Zeit auch ohne Futter eifrig, sobald die Dressurfarbe (auch ohne Stab) erschien. Wurde das kontinuierliche Spektrum ins Aquarium geworfen, so schossen die Fische stets auf ihre Dressurfarbe zu. Es konnte hierbei festgestellt werden, daß die Ellritzen mindestens folgende Spektralfarben ohne Rücksicht auf ihre Intensität unterscheiden können: Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett und Ultraviolett bis zu 365 $\mu\mu$ Wellenlänge und Weiß. Nur die der Dressurfarbe unmittelbar benachbarten Farben konnten von den Ellritzen nicht von der Dressurfarbe unterschieden werden, wobei die Ähnlichkeit zwischen Blau und Grün für die Tiere besonders groß war, die zwischen Blau und Violett jedoch geringer war als für den Menschen. Interessant ist die Tatsache, daß die Ähnlichkeit zwischen Dressur- und Nachbarfarbe mit der Dressurdauer sich verminderte. Auch ließen die Fische, wenn sie im Verlaufe eines Versuches ermüdeten, zunächst die Nachbarfarbe unbeachtet und dann erst die eigentliche Dressurfarbe. Daß die Fische auch auf Nachbarfarben reagierten, wenn sie heller als die Dressurfarben waren, zeigte, daß die Reaktion von dem Helligkeitswert der Farbe unabhängig war, wie auch die Tiere ebenso nach der Dressur-

farbe schnappten, wenn sie verdunkelt wurde." — Obwohl der Fisch den kurzwelligen Teil des Spektrums weiter sieht als der Mensch, ist doch sein Lichtbereich im langwelligen Teil nicht verkürzt, wie dies bei der ebenfalls Ultraviolett sehenden Biene der Fall ist.

Das Geruchsvermögen von Triton beim Aufenthalt unter Wasser. E. MATTHES, Zeitschr. f. vergl. Physiologie 1, 1924.) Molche, in deren Aquarium kleine Regenwurmstücke geworfen werden, geraten dadurch in große Erregung und nehmen eine charakteristische „Witterungsstellung" ein, in der sie den Boden nach den Futterstücken absuchen: Die Tiere krümmen sich so, daß die Schnauzenspitze oft nahezu senkrecht über den Boden streicht. Ein chemischer Sinn ist also vorhanden und die Frage entsteht, ob es sich um Geruchs- oder Geschmackssinn handelt. Wegen seiner Verwandtschaft zum Geschmackssinn ist eine genaue Definition des Geruchssinnes nicht leicht, und daher umgrenzt M. in seiner Untersuchung des Geruchssinnes der Molche Triton cristatus, T. alpestris und T. vulgaris den Geruchssinn „als denjenigen Teil des chemischen Sinnes, der seine Empfangsorgane in der Schleimhaut der Nasenhöhle und den N. olfactorius (Riechnerv) zur afferenten Bahn hat." Zunächst wurde gezeigt, daß das Witterungsvermögen von optischen Eindrücken unabhängig ist. Die Tiere fanden die Nahrung stets, auch wenn sie 1. in kleinen Tuchsäckchen versteckt war, wobei ebensolche mit Steinen gefüllte Säckchen als Kontrolle dienten; 2. sich unter einem mit einem Tuch hergestellten doppelten Boden des Aquariums befand; 3. nur als Preßsaft ins Wasser gespritzt wurde und 5. wenn die Augen zerstört waren. Durch Kollodiumüberzug geruchlos gemachte Stücke wurden dagegen nicht gefunden. Zur näheren Analyse des also zweifellos vorhandenen chemischen Sinnes wurde der Geruchssinn durch Durchtrennung des Riechnerven ausgeschaltet. Nach dieser Operation fielen alle Witterungsreaktionen weg. Dasselbe trat nach Kollodiumverschluß der Nasenöffnungen ein, wobei dieser Versuch noch den Vorteil der Möglichkeit einer Gegenprobe bot. Nach Wiederabnahme des Verschlusses setzte auch nach kurzer Pause die Witterungsreaktion wieder ein. Da aber bei diesem Versuch die sog. Buccalatmung, bei der durch Bewegungen des Mundbodens ein Wasserstrom durch die Nase eingezogen und durch den Mund wieder abgegeben wird, unterbunden wird, so ist die Möglichkeit nicht abzuweisen, daß bei Verhinderung dieses regelmäßigen Wasserstroms nicht nur die Riechschleimhaut, sondern auch die Geschmacksknospen der Mundhöhle außer Funktion gesetzt wurden. Diese Schwierigkeit konnte dadurch umgangen werden, daß zwischen den Nasenöffnungen noch eine dritte, künstliche, Öffnung geschaffen wurde, die auch bei verstopften Nasenöffnungen die Zirkulation des Atemwassers durch die Mundhöhle ermöglichte. Da auch bei dieser Anordnung das Witterungsvermögen aufhörte und alsbald nach Abnahme des Nasenverschlusses wieder eintrat, konnte also der Beweis für einen in der Nasenschleimhaut befindlichen, als Geruchssinn zu bezeichnenden chemischen Sinn als erbracht angesehen werden. Bei diesen Versuchen wurde außerdem noch auf die Ausschaltung des „Erschütterungssinnes" geachtet, der auch Tiere ohne Geruchs- und Gesichtsinn, noch *bewegte* Nahrung finden ließ. Es mußte also bei Kardinalversuchen stets mit unbewegter Nahrung gearbeitet werden.

In einer zweiten Arbeit: *Die Rolle des Gesichts-, Geruchs- und Erschütterungssinnes für den Nahrungserwerb von Triton* (Biolog. Zentralbl. 44, 1/2. 1924) untersucht MATTHES die biologische Bedeutung dieser Sinne und kommt zu folgendem Resultat: Jeder der drei untersuchten Sinne kann zur „Alarmierung" des Tieres (= Aufmerken bei in der Nähe befindlicher Beute) und zum Finden der Beute ausreichen. Aber nur mit Hilfe des Geruchs können die Tiere bewegte und unbewegte Beute finden und sie wirklich erkennen. Gesichts- und Erschütterungssinn sind dagegen bei unbewegter Beute unbrauchbar. Der Gesichtssinn übertrifft den Erschütterungssinn insofern an Bedeutung, als er auf größere Entfernungen wirksam ist. Die so gefundene Reihenfolge der Sinne ihrer Wertigkeit nach ist also: Geruchs- > Gesichts- > Erschütterungssinn. In praktisch-biologischer Hinsicht ist jedoch dem Gesichtssinn „weitaus die erste Stelle hinsichtlich der Bedeutung für den Nahrungserwerb einzuräumen", da es sich in der freien Natur meist um bewegte Beute handelt, die schon auf verhältnismäßig große Entfernungen gesehen und auch meist nur mit Hilfe des Auges erbeutet wird.

K. BALDUS.

Physikalische Mitteilungen.

Unter dem Titel **Die Eigenschaften der Dielektrika** berichtet G. L. ADDENBROOKE (Nature vom 5. April 1924) über lange Versuchsreihen, die er mit dünnen klaren Celluloidblättchen angestellt hat. Entsprechend der Gleichung:

$$(IE)^2 - D^2 = R^2$$

(I: Strom; E: Potentialdifferenz; D: zerstreute Energie; R: reversible Energie), teilt er die Eigenschaften der Dielektrika, deren Leitfähigkeit nicht o ist, in solche, die eine reversible Energieanhäufung und solche, die eine Energiezerstreuung bedingen.

In einer ersten Reihe von Versuchen wurden diese beiden Größen in Abhängigkeit von der Stromfrequenz von $1-2000 \infty$ an gewöhnlichem Celluloid mit dem Feuchtigkeitsgehalt von etwa 2% bei konstanter Temperatur und konstanter Potentialdifferenz gemessen Es ergaben sich zwei Kurven ähnlichen Verlaufes, die beide von großen Werten bei Gleichstrom zu kleineren Grenzwerten mit steigender Periodenzahl konvergieren.

Eine zweite Versuchsreihe wurde angestellt, um das Celluloid möglichst weitgehend getrocknet zu untersuchen. Während der Widerstand von ca. $2{,}10^{10}$ Ohm auf ungefähr das 100fache stieg, sank die Dielektrizitätskonstante (aus R berechnet) gegen den Wert 4,8, und war nur noch in engen Grenzen von der Frequenz abhängig. Auch die Temperaturabhängigkeit verschwand fast ganz, im Gegensatz zu den Eigenschaften des feuchten Celluloids, die stark temperaturabhängig sind, was dem hohen Temperaturkoeffizienten des Wasserdampfdruckes zu entsprechen scheint.

Eine dritte Reihe von Experimenten war der Abhängigkeit der Eigenschaften vom Feuchtigkeitsgehalt gewidmet. Man kann aus den erhaltenen Kurven schließen, daß bei vollständiger Trockenheit weder bei Gleichstrom noch bei Wechselstrom Energie durch Zerstreuung verloren geht, d. h. der Widerstand praktisch unendlich wird, und daß die Dielektrizitätskonstante 4,8 unabhängig von der Frequenz charakteristisch für den chemischen Aufbau der Substanz ist. Man muß also schließen, daß alle Schwierigkeiten dem Feuchtigkeitsgehalt zuzuschreiben sind; und zwar lassen sich die Erscheinungen erklären, wenn man eine feste elektrolytische Lösung des Wassers im Celluloid annimmt.

Es wird besonders vom Verfasser betont, daß er diese Versuche erst unternommen hat, nachdem er zu der Überzeugung gelangt war, daß die Vorgänge in allen nicht vollständig isolierenden Dielektriken von prinzipiell der gleichen Art seien, wenn auch quantitativ weit verschieden.

Der Isotopeneffekt als ein Mittel den Ursprung von Bandenspektren zu identifizieren: Anwendung auf die Banden von Metallhydriden. (ROBERT S. MULLIKEN, Nature vom 5. April 1924). Gewisse Bandensysteme im Zink-, Cadmium- und Quecksilberdampf schreibt KRATZER wegen ihres großen Linienabstandes, also ihres kleinen Trägheitsmomentes den betreffenden Metallhydriden zu. Denselben Schluß zog für Kupfer FRERICHS, der kürzlich verschiedene Kupferbanden mit großer Auflösung untersuchte.

Verf. versucht nun aus der quantentheoretisch zu berechnenden Linienaufspaltung, die durch das Vorhandensein von Isotopen entsteht, zu entscheiden, um welche Metallverbindung es sich handeln kann: Ist ϱ das Verhältnis der Molekularschwingungsfrequenzen der Verbindungen $A'B$ und $A''B$ zweier Isotope mit dem Element B, so ist $1-\varrho$ der relative Unterschied der Schwingungsfrequenzen und $1-\varrho^2$ der relative Unterschied der Rotationsfrequenzen. Drückt man diese Werte durch die Atomgewichte aus, so erhält man näherungsweise:

$$1-\varrho^2 = 2(1-\varrho) = \frac{m(M'-M'')}{M(M+m)}$$

(m: Atomgewicht von B; M', M'': Atomgewichte der Isotopen A' und A''; M: mittleres Atomgewicht des Isotopen Elementes A). Es zeigt sich, daß für großes M/m die Aufspaltungen proportional m gehen. Setzt man in diese Formel die von ASTON gefundenen Isotopen ein (für *Cu* 63 und 65), so erhält man theoretische Werte, die sich direkt mit den beobachteten vergleichen lassen.

Verf. führt den Vergleich an den Beobachtungen von FRERICHS an Kupferbanden durch: Jede Bande hat einen positiven und einen negativen Ast. FRERICHS fand deutliche Dublettstruktur im negativen Ast dreier Banden. Die ausgemessenen Dublettabstände (es handelt sich um Wellenzahldifferenzen von 0,3 bis 0,7) stimmen innerhalb der Versuchsfehler mit den theoretischen Werten für CuH überein. Daß im positiven Ast keine Aufspaltung gefunden wurde, erklärt die Theorie aus der Kleinheit des hier zu erwartenden Effektes. Dabei ist angenommen worden, daß der Isotopeneffekt für den Elektronensprung zu vernachlässigen sei. FRERICHS selbst hatte auf die Untersuchung des Isotopeneffektes verzichtet wegen der Ähnlichkeit dieser Banden mit den CN-Banden, deren Träger bestimmt keine Isotopen enthalten.

Ein weiteres Kriterium wäre der Vergleich der relativen Intensität der aufgespaltenen Linien mit der Zusammensetzung der isotopen Elemente; da FRERICHS keine entsprechenden Daten angibt, wurde dieser Punkt hier nicht weiter berührt.

Daß bei Zn, Cd und Hg, die fast ebenso genau ausgemessen sind wie Cu, keine Anzeichen für einen Isotopeneffekt gefunden sind, läßt sich unter plausiblen Annahmen über die Isotopenverteilung nur verständlich machen, wenn man annimmt, daß die betrachteten Banden von den Hydriden dieser Metalle stammen. Für Oxyde oder Nitride ist der Isotopeneffekt 10 bis 15 mal so groß wie für Hydride und wäre daher wohl kaum zu übersehen.

Ein spektroskopischer Nachweis isotoper Elemente von H. NAGAOKA und Y. SUGIURA. (Nature, 12. April.) Die Verff. sind bei ihren spektroskopischen Untersuchungen zu der Vermutung gekommen, daß die Träger vieler Emissionslinien von Elementen, die sich nicht in Serien reihen lassen, Atompaare sind, die sich besonders im ionisierten Zustand bilden werden. Für den Fall, daß es sich um Molekülschwingungen handelt, lassen sich die Wellenlängendifferenzen zwischen den von verschiedenen Isotopen herrührenden Linien berechnen. Seien m_1 und m_2 die Atomgewichte zweier Isotope, so ist die Wellenlängendifferenz der symmetrischen Paare ($m_1\,m_1$) und ($m_2\,m_2$), wenn man die bindende Kraft bei beiden gleichsetzt und die Rotation beim Quanteln vernachlässigt,

$$\delta\lambda = \left(1 - \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}\right)\lambda_2$$

und der Abstand des unsymmetrischen Paares ($m_1\,m_2$) von λ_1 und λ_2:

$$\delta\lambda = \left(1 - \sqrt{\frac{m_1+m_2}{2\,m_2}}\right)\lambda_2$$

bzw.
$$\delta\lambda = \left(\sqrt{\frac{m_1+m_2}{2\,m_1}} - 1\right)\lambda_1\,,$$

wo $m_1 < m_2$ und daher $\lambda_1 < \lambda_2$. Bei dem Vergleich bekannter Isotope mit dem vorliegenden spektroskopischen Material finden die Verff. derartige Linienpaare bei Li, Ne, Si, Cl, A, Zn, Cu, Br und Rb. Da sie beim Neon 250 symmetrische und 248 unsymmetrische Linienpaare unter den von PASCHEN unter Annahme mehrerer Energieniveaus in Serien eingeordneten Linien gefunden haben, halten die Verff. es für fraglich, ob man nicht die Linien auch noch anders deuten kann. Über Intensitätsverhältnisse ist in keinem Falle etwas ausgesagt. Eine Schwierigkeit fand sich, als die Verff. auch bei Elementen, die nach ASTON bestimmt aus einer Atomart bestehen, derartige Linienpaare berechnen konnten. Sie glauben hier den Effekt Bewegungen im Kern zuschreiben zu können.

Trotz dieser Schwierigkeit verwenden die Verff. nun ihre Formeln zum Aufsuchen neuer Isotope und hoffen besonders nach Erlangung der notwendigen spektroskopischen Daten die Isotope der seltenen Erden feststellen zu können. Dabei müssen natürlich die spektroskopischen Angaben um so genauer sein, je schwerer das zu untersuchende Element ist, da $\delta\lambda$ mit wachsendem m immer kleiner wird.

Weiter machen die Verff. darauf aufmerksam, daß die Ganzzahligkeit der Astonschen Isotopengewichte nur angenähert gelten kann, und daß sie hoffen, später einmal aus ihren $\delta\lambda$-Werten etwas über die Trägheit des Kernes und damit über seine Struktur aussagen zu können.

Über das Singen von Drähten im Wind bringt G. J. TAYLOR (Nature, 12. April) eine merkwürdige Beobachtung: Bewegt man eine 4-zinkige Toastgabel so, daß die Bewegungsrichtung in der Zinkenebene liegt, so hört man ein singendes Geräusch, das aber unhörbar leise wird, wenn man die Zinkenebene senkrecht zur Bewegungsrichtung dreht. Nun stammt sowohl der Widerstand wie das singende Geräusch eines bewegten Drahtes von den Wirbeln, die er hinter sich zurückläßt. Es scheint daher merkwürdig, daß man dadurch, daß man mehrere Drähte hintereinander anordnet und so den totalen Widerstand verringert, das Singen wesentlich verstärkt, statt es auch zu vermindern. v. SIMSON.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.